

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»

ΛΕΓΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΓΚΟΛΟΣ Α.

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ Β.

ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ Ν.

ΒΟΛΟΣ, 2011



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 9302/1
Ημερ. Εισ.: 01-03-2011
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
628.4
ΛΕΓ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη τοξικότητας της ιλύος που παράγεται σε μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας, εστιάζοντας στην αξιοποίηση της ιλύος για γεωργική χρήση, καθώς αυτή αποτελεί την οικονομικότερη, πρακτικότερη και περισσότερο εύλογη μορφή περιβαλλοντικής διαχείρισης αυτής. Παρόλα αυτά, η ιλύς αποτελεί ένα πολύπλοκο μίγμα διαφόρων ουσιών ανόργανης ή οργανικής φύσης, παθογόνων και άλλων βιολογικών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος, στα φυτά, στην ποιότητα των υδροφορέων και στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων.

Η τοξικότητα της ιλύος μελετήθηκε με την εφαρμογή βιοδοκιμών στα στερεά δείγματα και στα υγρά έκπλυσής τους, που προέκυψαν με την εφαρμογή πρότυπης δοκιμής έκπλυσης ενός σταδίου. Μελετήθηκαν δύο δείγματα ιλύος που προέρχονταν από τη μονάδα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων της Λάρισας και του Τυρνάβου. Η ιλύς της Λάρισας παρουσίασε χαμηλή φυτοτοξική δράση σε σχέση με την ιλύ του Τυρνάβου. Έδαφος με περιεκτικότητα σε ιλύ 50%, παρουσίασε υψηλή φυτοτοξική δράση και στα δύο δείγματα που μελετήθηκαν (περίπου 100% αναστολή βλάστησης), ενώ στην περίπτωση της ιλύος της Λάρισας, σχετικά χαμηλή φυτοτοξικότητα παρατηρήθηκε στο έδαφος με περιεκτικότητα σε ιλύ που δεν ξεπερνούσε το 20%. Αντίστοιχα, τα υγρά έκπλυσής της ιλύος της Λάρισας εμφάνισαν τοξικότητα στο καρκινοειδές *Daphnia magna* που δεν ξεπερνούσε το 45%, ενώ η τοξικότητα των υγρών έκπλυσής της ιλύος του Τυρνάβου σε συγκέντρωση 20%, ήταν 100%. Η μέτρηση του COD και της αγωγιμότητας των υγρών έκπλυσής έδειξε τιμές υψηλότερες για την ιλύ του Τυρνάβου κατά περίπου 5 φορές, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των υγρών έκπλυσής της ιλύος της Λάρισας.

Λέξεις κλειδιά: ιλύς, μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τοξικότητα, φυτοτοξικότητα.

ABSTRACT

The objective of the present thesis is the toxicity assessment of the sewage sludge produced in municipal wastewater treatment plants in Thessaly region, aiming to the evaluation of the potential use of the sewage sludge in agriculture. Utilization of the sewage sludge in agriculture consists in an economical and environmentally accepted use worldwide. Nevertheless, the sewage sludge is a complex mixture containing organic and inorganic constituents, pathogens, and other pollutants, that may cause harmful effects on aquatic and terrestrial environment as well as on both human and animals.

The toxicity of the sewage sludge was examined by the application of bioassays for both solid samples and its leachates collected by the application of a standard one-stage leaching test. Two sewage sludges were examined obtained from the municipal wastewater treatment plant of Larissa and Tyrnavos. The sludge of Larissa exhibited the lowest phytotoxic effect compared with the phytotoxic effect of the sludge of Tyrnavos. Soil containing 50% sludge exhibited high phytotoxic effect in both samples examined (about 100% growth inhibition), while in the case of Larissa, a relatively low phytotoxic effect was observed for soil containing sludge in concentration lower than 20%. The toxic effect on *Daphnia magna* of the leachates collected from the sludge of Larissa was lower than 45%, while the leachates of the sludge of Tyrnavos caused 100% toxicity at concentrations as low as 20%. Furthermore, both COD and conductivity values of the sludge leachates of Tyrnavos were about 5 times higher than the corresponding values of the sludge leachates of Larissa.

Keywords: *sewage sludge, toxicity, phytotoxicity, wastewater treatment plants*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΛΥΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	14
2.1 Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	15
2.2 Στάδια επεξεργασίας Υγρών αποβλήτων.....	18
2.2.1 Προκαταρκτική Επεξεργασία	18
2.2.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία	19
2.2.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....	21
2.2.4 Τριτοβάθμια επεξεργασία	23
3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΛΥΟΣ	24
3.1 Επεξεργασία Ιλύος	24
3.1.1 Πάχυνση.....	24
3.1.2 Χώνευση	27
3.1.3 Αφυδάτωση.....	29
3.2 Χαρακτηριστικά της Ιλύος	32
3.2.1 Σύσταση της Ιλύος.....	32
3.2.2 Εκπλυση Ιλύος.....	33
3.2.3 Κίνδυνοι από την εδαφική εφαρμογή της ιλύος	37
3.2.3.1 Χημικοί κίνδυνοι	37
3.2.3.2 Παθογόνοι οργανισμοί.....	45
3.2.3.3 Οργανικοί ρυποί.....	50
4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ	56
4.1 Νομοθετικό Πλαίσιο	57
4.2 Διαχείριση Ιλύος.....	60
4.2.1 Σταθεροποίηση	61

4.2.2	Υγειονομική ταφή.....	65
4.2.3	Κομποστοποίηση.....	67
4.2.4	Καύση.....	69
4.3	Αξιοποίηση ιλύος.....	71
4.3.1	Γεωργική Χρήση.....	71
4.3.2	Αποκατάσταση Εδαφών.....	78
4.3.3	Εφαρμογή σε Δασοπονία.....	79
5	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	81
5.1	Υλικά.....	81
5.2	Μέθοδοι.....	82
5.2.1	Μέτρηση της αγωγιμότητας.....	82
5.2.2	Μέτρηση του pH.....	82
5.2.3	Μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου COD (Chemical Oxygen Demand).....	83
5.2.4	Πείραμα Φυτοτοξικότητας.....	84
5.2.5	Δοκιμή έκπλυσης ενός σταδίου EN 12457-2.....	86
5.2.6	Πείραμα ακινητοποίησης <i>Daphnia magna</i>	86
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	89
6.1	Μέτρηση του pH, της αγωγιμότητας και του COD.....	89
6.2	Αποτελέσματα φυτοτοξικότητας της ιλύος.....	90
6.3	Αποτελέσματα τοξικότητας των υγρών έκπλυσης της ιλύος.....	97
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	99
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1: Ποσότητες ιλύος οι οποίες παράγονται ετησίως από τις ΜΕΑΥΑ στην Ελλάδα (τόνοι ξηράς ουσίας)</i>	<i>11</i>
<i>Πίνακας 2: Σύγκριση των διαφόρων διεργασιών πάχυνσης.....</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 3: Τυπικά χαρακτηριστικά της ιλύος ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας.....</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 4: Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων της έρευνας</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας 5: Οριακές τιμές έκπλυσης της απόφασης 2003/33/ΕΚ για αναλογία υγρού/στερεού L/S= 10 L/kg (εκφραζόμενες ως mg/kg ξηράς ουσίας).....</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας 6: Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων για γεωργική διάθεση ιλύος σε διάφορες χώρες (mg/kg ΞΥ).....</i>	<i>40</i>
<i>Πίνακας 7 Μέση συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην ιλύ σε διάφορες χώρες της Ευρώπης [mg/kg ΞΥ] για τα έτη 1998 – 2000.....</i>	<i>41</i>
<i>Πίνακας 8: Οριακές τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στις περιπτώσεις γεωργικής χρησιμοποίησης ιλύος αστικών λυμάτων, για το έδαφος, την ιλύ και το φορτίο ετήσιας εδαφικής εφαρμογής, σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 86/278/ΕΚ και την ΚΥΑ 80568/4225/91.....</i>	<i>42</i>
<i>Πίνακας 9: Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg ΞΥ).....</i>	<i>42</i>
<i>Πίνακας 10: Οριακές τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στην ιλύ (mg/kg ΞΥ).....</i>	<i>43</i>
<i>Πίνακας 11: Παθογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται στην ιλύ.....</i>	<i>46</i>
<i>Πίνακας 12: Χρόνος επιβίωσης διαφόρων τύπων παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος και στα φυτά.....</i>	<i>48</i>
<i>Πίνακας 13: Ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές συγκεντρώσεων παθογόνων στην ιλύ που προορίζεται για γεωργική χρήση.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 14: Οριακές τιμές για τις σύνθετες οργανικές ενώσεις [mg/kg ΞΥ].....</i>	<i>55</i>
<i>Πίνακας 15: Κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ που πρόκειται να διατεθεί στο έδαφος (σε mg/kg ξηράς ουσίας).....</i>	<i>72</i>
<i>Πίνακας 17: Οδηγίες για τον προσδιορισμό της εδαφικής ρύπανσης από οργανικά (mg/kg ΞΥ). 75</i>	
<i>Πίνακας 18: Αποτελέσματα μέτρησης αγωγιμότητας, pH και COD των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος από τις μονάδες επεξεργασίας Λάρισας και Τυρνάβου.</i>	<i>89</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<i>Διάγραμμα 1: Γεωγραφική κατανομή των ΜΕΑΥΑ ανά περιφέρεια</i>	17
<i>Διάγραμμα 2: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού S. alba</i>	91
<i>Διάγραμμα 3: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού S. alba</i>	91
<i>Διάγραμμα 4: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού L. sativum</i>	93
<i>Διάγραμμα 5: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού L. sativum.....</i>	93
<i>Διάγραμμα 6: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού S. Saccharatum.....</i>	95
<i>Διάγραμμα 7: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού S. saccharatum.....</i>	95
<i>Διάγραμμα 8: Ποσοστά ακινητοποίησης της D. magna για τις διάφορες συγκεντρώσεις των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος της Λάρισας και του Τυρνάβου</i>	97

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Διαδικασία προετοιμασίας του πειράματος Phytotoxkit Microbiotest</i>	85
<i>Εικόνα 2: Τα ειδικά πλαστικά δισκία με τις κυψελίδες.....</i>	87

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

BOD : Biochemical Oxygen Demand

COD : Chemical Oxygen Demand

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΜΕΑΥΑ : Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων

ΞΥ : Ξηρά Ύλη

ΦΕΚ: Φυλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως

ΧΥΤΑ : Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την εποπτεία του κ. Κούγκολου Αθανάσιου, Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, προς τον οποίο θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την ανάθεση της εργασίας.

Επιπλέον ευχαριστώ τον κύριο Τσιρίδη Βασίλειο, Χημικό Μηχανικό, για την συμβολή του κατά το σχεδιασμό και την εκτέλεση του πειραματικού μέρους της εργασίας, καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη συγγραφή της εργασίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι γεγονός ότι η παραγωγή ιλύος είναι αναπόφευκτη συνέπεια όλων των σύγχρονων μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων. Συνεπώς η διαχείριση της ιλύος αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα που απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα λόγω της συνεχούς αυξανόμενης ποσότητας παραγόμενης ιλύος.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη τοξικότητας της ιλύος που παράγεται σε μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας, εστιάζοντας στην αξιοποίηση της ιλύος για γεωργική χρήση. Η γεωργική διάθεση της ιλύος των αστικών λυμάτων σε διεθνή κλίμακα συνιστά την οικονομικότερη, πρακτικότερη και περισσότερο εύλογη μορφή περιβαλλοντικής διαχείρισης αυτής, η οποία τις περισσότερες φορές συσχετίζεται θετικά με τις προτεραιότητες της αειφόρου διαχείρισης του περιβάλλοντος. Έτσι γίνεται μια προσπάθεια να εξεταστούν οι πιθανοί κίνδυνοι που μπορούν να δημιουργηθούν από τη γεωργική χρήση της ιλύος καθώς αυτή αποτελεί ένα πολύπλοκο μίγμα διαφόρων ουσιών ανόργανης ή οργανικής φύσης, παθογόνων και άλλων βιολογικών παραγόντων. Οι συγκεντρώσεις των παραγόντων αυτών μπορεί να επιφέρουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις (ρύπανση – μόλυνση) στο έδαφος, στα φυτά, στην ποιότητα των υδροφορέων και στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η τοξικότητα της ιλύος που προκύπτει από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Λάρισας και του Τυρνάβου, με τη χρήση δοκιμών τοξικότητας, καθώς πολλές φορές είναι δύσκολο για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους να εντοπιστεί το σύνολο των χημικών ουσιών που μπορεί να υπάρξουν σε ένα δείγμα. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την εφαρμογή των δοκιμών τοξικότητας, γνωστές και ως βιοδοκιμές. Με τη χρήση των βιοδοκιμών γίνεται μία άμεση εκτίμηση της επίδρασης ενός δείγματος σε ζωντανούς οργανισμούς, αποτυπώνοντας τις επιπτώσεις από όλους τους επιβλαβείς παράγοντες, συμπεριλαμβάνοντας συνεργιστικές και ανταγωνιστικές επιδράσεις.

Πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση της ιλύος για γεωργικούς σκοπούς στη χώρα μας δεν έχει μέχρι σήμερα τύχει του ανάλογου ενδιαφέροντος, αν και είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα ελληνικά δεδομένα.

Όσον αφορά τη δομή της εργασίας, αυτή αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται βιβλιογραφική προσέγγιση του αντικειμένου της εργασίας, ενώ στο δεύτερο μέρος περιγράφεται η πειραματική προσέγγισή του και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της μελέτης.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο του πρώτου μέρους γίνεται μια εισαγωγή στο πρόβλημα διαχείρισης και διάθεσης της ιλύος ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και οι διάφοροι τύποι ιλύος που προκύπτουν από αυτά. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος καθώς και τα χαρακτηριστικά και οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με την ιλύ, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρόποι και το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο που αφορούν τη διαχείριση και τη διάθεση της ιλύος.

Όσον αφορά το δεύτερο μέρος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των υλικών και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων, στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ενώ τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας.

Α' ΜΕΡΟΣ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιλύς που παράγεται ως παραπροϊόν από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων (ΜΕΑΥΑ) αποτελεί μια σημαντική κατηγορία στερεών αποβλήτων, της οποίας οι μεθοδολογίες διαχείρισης αποτελούν ένα σύνθετο αντικείμενο και απασχολούν ένα μεγάλο αριθμό φορέων. Σήμερα στην Ελλάδα παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος και στα επόμενα χρόνια αναμένεται μεγάλη αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων, αφού σύμφωνα με την οδηγία 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη διαχείριση των αστικών λυμάτων, όλοι οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 2.000 κατοίκους θα έπρεπε να διαθέτουν μέχρι το τέλος του 2005 ανάλογες μονάδες επεξεργασίας.

Ειδικότερα η παραγωγή ιλύος στην Ελλάδα ανά κάτοικο ανέρχεται σε ποσότητα 19,8 g ιλύος (ξηρά ύλη) [ΞΥ] ημερησίως. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι ποσότητες ιλύος σε ξηρά ύλη, οι οποίες παράγονται ετησίως από τις ΜΕΑΥΑ στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία (Κουλουμπής κ.ά., 2007)

Πίνακας 1: Ποσότητες ιλύος οι οποίες παράγονται ετησίως από τις ΜΕΑΥΑ στην Ελλάδα (τόνοι ξηράς ουσίας)

Έτος	Παραγόμενη ιλύς από τις ελληνικές ΜΕΑΥΑ συνολικώς
1995	51.624
1997	58.993
1998	59.320
1999	60.135
2000	66.335
2001	58.362
2002	69.178
2003	79.757

Πηγή: Κουλουμπής κ.ά., 2007

Από τη συνολική ποσότητα αυτού του στερεού αποβλήτου που παράγεται σήμερα ένα αρκετά μικρό ποσοστό αξιοποιείται σε διάφορες εφαρμογές (Στάμου, 2004)

Παρά το γεγονός ότι τα στάδια και οι δυνατότητες επεξεργασίας των λυμάτων έχουν αυξηθεί σημαντικά, οι τρόποι και οι μέθοδοι διάθεσης της επεξεργασμένης ιλύος είναι περιορισμένοι. Οι κυριότεροι τρόποι διάθεσης της ιλύος, παραμένουν ουσιαστικά οι ίδιοι τα τελευταία πενήντα χρόνια και είναι :

- διάθεση σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις
- διάθεση σε ΧΥΤΑ
- αποκατάσταση εδαφών, λατομείων και άλλων εγκαταστάσεων,
- χρήση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις,
- καύση
- διάθεση στη θάλασσα

Πιο συγκεκριμένα, η απευθείας εφαρμογή της ιλύος σε γεωργικές εκτάσεις πραγματοποιείται σήμερα σε αρκετές περιοχές στην Ευρώπη καθώς η ιλύς διαθέτει μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών, όπως θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη και έχει υψηλή θερμογόνο δύναμη, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλη για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων. Ωστόσο, είναι συγχρόνως και φορέας ανεπιθύμητων ρυπαντών, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, με αποτέλεσμα ο τρόπος της τελικής τους διάθεσης να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι οι εκπομπές στον αέρα, ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία και η πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών και των υδάτων.

Στην Ελλάδα, η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος υπολογίζεται στο 10% μόνο της συνολικής παραγομένης ιλύος. Η πολιτική διαχείρισης της ιλύος βασίζεται κυρίως στην διάθεση μέσω υγειονομικής ταφής. Καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ήδη ένα σοβαρό πρόβλημα στην Ελλάδα, οι αρμόδιες αρχές δεν λαμβάνουν την αποτέφρωση της ιλύος ως μια καλή εναλλακτική λύση διάθεσης. Στην Ελλάδα η ιλύς δεν χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση του εδάφους, αν και θα μπορούσε η χρήση της στο έδαφος να αποτελούσε μία ακόμα βιώσιμη εναλλακτική επιλογή.

Συνεπώς, ο τρόπος τελικής διάθεσης της ιλύος μπορεί να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με αποτέλεσμα να απαιτείται η κατάλληλη επεξεργασία της και γενικά η προσεκτική της διαχείριση.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν υπάρξει σημαντικές αλλαγές στους τρόπους διάθεσης της ύλης. Πριν το 1998, οι ποσότητες ύλης που παραγόταν από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτίθονταν σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στη θάλασσα. Από το 1998 όμως και μετά, η ευρωπαϊκή νομοθεσία (91/271/ΕΕ) απαγορεύει ρητά τη διάθεση της ύλης στη θάλασσα με σκοπό τη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΛΥΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελεί πολύ σημαντικό αντικείμενο της υδατικής ρύπανσης και γενικότερα της διαχείρισης υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος στις σημερινές κοινωνίες, καθώς είναι ένα σημαντικό μέτρο για τον περιορισμό των επιπτώσεων από την διάθεσή τους σε διάφορους αποδέκτες.

Με τον γενικό όρο «λύματα» αναφερόμαστε είτε στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) είτε στα υγρά απόβλητα από τις συνήθειες δραστηριότητες μιας πόλης (αστικά λύματα). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν σημαντικά ποσοστά υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε δεν ονομάζονται αστικά λύματα αλλά υγρά αστικά απόβλητα (Τσώνης, 2004).

Ως αστικά απόβλητα εννοούνται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα που λόγω της φύσης ή της σύνθεσης τους είναι παρόμοια με τα οικιακά και τα οποία διέπονται από τις διατάξεις της ΚΥΑ 69728/824/1996.

Οικιακά λύματα είναι τα λύματα των κατοικιών και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και τις εμπορικές δραστηριότητες (Μιχαλοπούλου, 2004).

Με τον όρο επεξεργασία λυμάτων εννοείται η οποιαδήποτε τεχνική επεξεργασία, με την οποία επιτυγχάνεται η τροποποίηση των χαρακτηριστικών των λυμάτων, με σκοπό την εξάλειψη ή μείωσης των δυσμενών συνεπειών από τη διάθεσή τους (Μιχαλοπούλου, 2004)

2.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων για να επιτύχουν τον επιθυμητό βαθμό καθαρισμού των λυμάτων από το αιωρούμενο και διαλυτό οργανικό υλικό, από το υγρό ρεύμα των λυμάτων και την επεξεργασία της παραγόμενης λάσπης (ύλως), ακολουθούν ορισμένα στάδια επεξεργασίας (Τσώνης, 2004).

Η επιλογή των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας εξαρτάται από:

- Τα χαρακτηριστικά των λυμάτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία
- Τις προδιαγραφές που ισχύουν για τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων σε συνάρτηση με τον αποδέκτη
- Τη δυναμικότητα της εγκατάστασης επεξεργασίας
- Την ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της λάσπης που προκύπτει στα διάφορα στάδια
- Την εμπειρία του προσωπικού λειτουργίας
- Την απαίτηση για ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη γύρω περιοχή

Η παρακολούθηση της ποιότητας των εκροών των Μονάδων Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων (ΜΕΑΥΑ), πριν από την διάθεση τους σε κάποιο αποδέκτη και τη διατήρησή τους σε αποδεκτά για τον αποδέκτη επίπεδα, επιβάλλεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ της 21/5/91 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Μιχαλοπούλου, 2004). Η επεξεργασία και διάθεση γίνεται από τις ΜΕΑΥΑ

Στην Ελλάδα, ο βιολογικός καθαρισμός ως τρόπος διαχείρισης των αστικών λυμάτων επιβλήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ (21/5/91) αφού μέχρι τότε τα λύματα διοχετεύονταν ανεπεξέργαστα στη θάλασσα, στις λίμνες και στα ποτάμια. Σύμφωνα με την παραπάνω οδηγία, θα έπρεπε ως τα τέλη του 1998 να είχαν δημιουργηθεί εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε όσους οικισμούς πάνω από 10.000 κατοίκους απέρριπταν τα λύματα σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές. Μέχρι το τέλος του 2000 θα έπρεπε να είχαν αποκτήσει εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών όλες οι πόλεις άνω των 15.000 κατοίκων και μέχρι το τέλος του 2005, θα έπρεπε όλοι οι οικισμοί με πληθυσμό από 2.000-15.000 κατοίκους να είχαν αποκτήσει τέτοιες

εγκαταστάσεις. Σήμερα σε όλη τη χώρα έχουν κατασκευαστεί 245 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ενώ βρίσκονται υπό κατασκευή άλλες 86 μονάδες. Οι 27 από αυτές τις μονάδες που έχουν κατασκευαστεί δεν λειτουργούν για διάφορους λόγους, εκ των οποίων ο σημαντικότερος είναι ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη εκ των προτέρων το κόστος λειτουργίας τους, με αποτέλεσμα πολλοί μικροί δήμοι να τους θέσουν σε αδράνεια (Δεμερτζής και Περπεράς, 2007).

Τα βασικότερα αίτια της γενικότερης καθυστέρησης κατασκευής και λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων είναι (Δεμερτζής και Περπεράς, 2007):

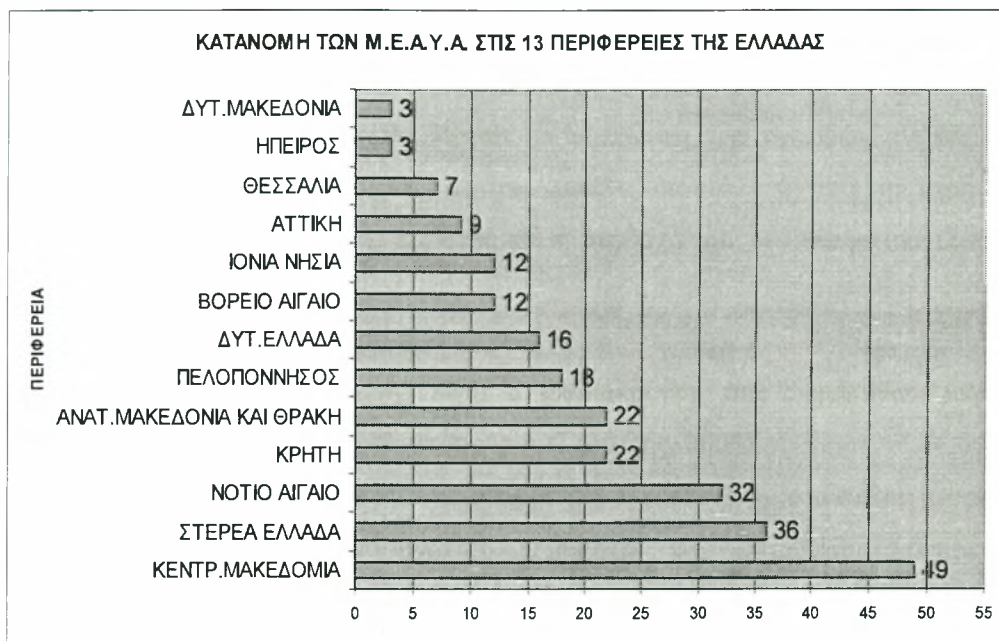
- Η έλλειψη μελετών ώστε να ωριμάσουν τα έργα και η χρηματοδότησή τους
- Οι διαμάχες ανάμεσα σε πολλούς δήμους για τη χωροθέτησή τους
- Η έλλειψη σε πολλές περιπτώσεις δικτύων αποχέτευσης, που αποτελεί και τη βασική προϋπόθεση, για την κατασκευή και λειτουργία τους

Προβλήματα παρουσιάστηκαν και μέσα από τη διαδικασία κατασκευής, όπως η μη ύπαρξη πρόβλεψης για την παραγόμενη λυματολάσπη και η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού για το χειρισμό και τη λειτουργία της μονάδας.

Οι καθυστερήσεις αυτές στη κατασκευή των μονάδων είχαν σαν συνέπεια η Ευρωπαϊκή Ένωση να προσφύγει 4 φορές κατά της Ελλάδας.

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδατικών πόρων από τα απόβλητα γίνεται από τις Μ.Ε.Α.Υ.Α οι οποίες σκοπό έχουν τον καθαρισμό των αστικών αποβλήτων από τα «βλαβερά» συστατικά που περιέχουν ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον. Ως «βλαβερά» συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα όπως η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων, τα οργανικά-φυσικά συστατικά (πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο, φώσφορος) (Στάμου, 2004).

Όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή όλων των ΜΕΑΥΑ που λειτουργούν στην Ελλάδα (στοιχεία 1998), αυτή φαίνεται στο Διάγραμμα 1.

Διάγραμμα 1: Γεωγραφική κατανομή των ΜΕΑΥΑ ανά περιφέρεια

Πηγή: Τσαγκαράκης και Αγγελάκης, 1998

2.2 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.2.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στην προκαταρκτική επεξεργασία γίνεται απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (εσχάρωση), της άμμου (εξάμμωση) και των λιπών (λιποσυλλογή) από την υγρή μάζα των αποβλήτων, η μέτρηση της παροχής και η υποδοχή των βοθρολυμάτων (Στάμου, 2004).

Ο κύριος ρόλος της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των σωματιδίων μεγάλου μεγέθους από τη ροή, τα οποία θα μπορούσαν (Γελατζής, 2008):

- Να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό της εγκατάστασης στα επόμενα στάδια.
- Να ελαττώσουν την συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης. Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τα διάκενα μεταξύ των παράλληλων μπαρών. Οι εσχάρες μπορεί να χωριστούν σε :
- Λεπτές εσχάρες με διάκενα 3-10 mm.
- Μεσαίες εσχάρες με διάκενα 10-25 mm.
- Χοντρές εσχάρες με διάκενα 50-100 mm.

Στην εξάμμωση γίνεται απομάκρυνση των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη γιατί η παραμονή τους δημιουργεί προβλήματα στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο κλπ.

Κατά την λιποσυλλογή γίνεται απομάκρυνση των ελαίων και των λιπών για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.

Η εξισορρόπηση ροής είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειτουργίας που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις στην παροχή, για να βελτιωθεί η απόδοση των διεργασιών και για να μειωθεί το μέγεθος και το κόστος των διατάξεων επεξεργασίας. Η εξισορρόπηση ροής είναι η εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην παροχή έτσι ώστε να επιτευχθεί μια σταθερή ή σχεδόν σταθερή παροχή για να μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών περιπτώσεων, ανάλογα με

τα χαρακτηριστικά του συστήματος συλλογής (Γελατζής, 2008). Με βάση την παροχή ρυθμίζεται συνήθως η λειτουργία της διάταξης συλλογής, η απομάκρυνση και στράγγιση της άμμου του αεριζόμενου εξαμμωτή και των μονάδων που χρησιμοποιούν χημικά (Στάμου, 2004).

Σκοπός της υποδοχής βοθρολυμάτων είναι η παραλαβή των βοθρολυμάτων από τα βυτιοφόρα, η αποθήκευση τους και η διοχέτευση τους στην ΜΕΑΥΑ, χωρίς να δημιουργούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διαταραχές (Στάμου, 2004).

2.2.2 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των στερών από τα απόβλητα. Περιλαμβάνει την καθίζηση (πρωτοβάθμια καθίζηση) ή επίπλευση και χημική επεξεργασία (κροκίδωση με καθίζηση). Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία απομακρύνεται ένα σημαντικό ποσοστό (50 – 70%) από τα αιωρούμενα στερεά (SS) των αποβλήτων και ένα μικρότερο ποσοστό (25 – 40%) από το οργανικό τους φορτίο (BOD₅). Με βάση την οδηγία 91/271/ΕΟΚ ονομάζεται πρωτοβάθμια επεξεργασία η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με φυσική ή και χημική μέθοδο με την οποία μειώνεται το BOD₅ των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων τουλάχιστον κατά 20% και τα αιωρούμενα στερεά τουλάχιστον κατά 50% (Κούγκολος, 2005).

Η καθίζηση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό αιωρούμενων σωματιδίων που είναι βαρύτερα από το νερό με τη δράση της βαρύτητας. Μια δεξαμενή καθίζησης μπορεί να αναφέρεται επίσης ως διαυγαστής ή δεξαμενή κατακάθισης. Η επιταχυνόμενη καθίζηση με βαρύτητα περιλαμβάνει την απομάκρυνση των σωματιδίων σε αώρηση με καθίζηση λόγω βαρύτητας, σε πεδίο επιταχυνόμενης ροής. Η καθίζηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση άμμου, των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης, για την απομάκρυνση χημικών κροκίδων σε δεξαμενές καθίζησης ενεργού ιλύος και για την απομάκρυνση χημικών κροκίδων όταν χρησιμοποιείται η διεργασία της χημικής κροκίδωσης. Η καθίζηση χρησιμοποιείται επίσης για την πύκνωση των στερεών σε παχυντές λάσπης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο πρωταρχικός σκοπός είναι η παραγωγή μιας διαυγασμένης εκροής, ενώ είναι επίσης σημαντικό να παραχθεί λάσπη, δηλαδή η πρωτοβάθμια ίλος,

με μια συγκέντρωση στερεών που να μπορεί να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί εύκολα (Γελατζής, 2008). Τρία είδη καθίζησης αναγνωρίζονται ανάλογα με τη φύση των στερεών που βρίσκονται σε αιώρηση (Κούγκολος, 2005):

1. Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων, δηλαδή τα σωματίδια που καθιζάνουν δεν συνενώνονται με άλλα σωματίδια και διατηρούν τις φυσικές τους ιδιότητες.
2. Καθίζηση συσσωματωμένων στερεών, όπου η συσσωμάτωση των σωματιδίων που καθιζάνουν συνοδεύεται από αλλαγές στην πυκνότητα και στην ταχύτητα καθίζησης.
3. Καθίζηση ζώνης ή εμποδισμένη καθίζηση, όπου τα σωματίδια δημιουργούν ένα πλέγμα που καθιζάνει ενιαία δημιουργώντας μία διεπιφάνεια στην υγρή φάση.

Η επίπλευση είναι μια διεργασία που χρησιμοποιείται για να διαχωριστούν στερεά ή υγρά σωματίδια από μια υγρή φάση. Ο διαχωρισμός προκαλείται από την εισαγωγή αερίων φυσαλίδων (συνήθως αέρα) μέσα στην υγρή φάση. Οι φυσαλίδες προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη επιτρέποντας την άνοδο των σωματιδίων στην επιφάνεια. Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, η επίπλευση χρησιμοποιείται κυρίως για να απομακρυνθούν αιωρούμενα υλικά και για την συμπύκνωση των βιοστερεών. Τα κύρια πλεονεκτήματα της επίπλευσης ως προς την καθίζηση είναι ότι τα πολύ μικρά ή ελαφρά σωματίδια που καθιζάνουν αργά μπορούν να απομακρυνθούν πλήρως σε μικρό χρονικό διάστημα. Μόλις τα σωματίδια επιπλεύσουν στην επιφάνεια, μπορούν να συλλεχθούν με μια διεργασία εξαφρισμού. Η σημερινή πρακτική της επίπλευσης όπως εφαρμόζεται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, περιορίζεται στη χρήση αέρα ως μέσου επίπλευσης. Οι φυσαλίδες αέρα προστίθενται ή σχηματίζονται είτε με εισαγωγή αέρα ενώ το υγρό είναι υπό πίεση και ακολουθεί εκτόνωση της πίεσης (επίπλευση διαλυμένου αέρα), είτε με αερισμό σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτά τα συστήματα, ο βαθμός της απομάκρυνσης μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση διαφόρων χημικών πρόσθετων. Στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, χρησιμοποιείται συνήθως η επίπλευση διαλυμένου αέρα, ιδιαίτερα για την πάχυνση απορριπτόμενων βιοστερεών (Γελατζής, 2008).

2.2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί οι οποίοι αναπαράγονται καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες και στη συνέχεια απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία (Κούγκολος, 2005).

Στη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα επεξεργασμένα λύματα υπόκεινται σε σημαντική αφαίρεση οργανικού υλικού (80-85%) με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας (ενεργός ιλύς) ή προσκολλημένης βιομάζας (ύπαρξη πληρωτικού υλικού πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην επεξεργασία) (Τσώνης, 2004).

Για την επεξεργασία λυμάτων οικισμών μεσαίου και μεγάλου μεγέθους (με ισοδύναμο πληθυσμό τουλάχιστον 10.000 κατοίκων) στην Ελλάδα χρησιμοποιείται αποκλειστικά η μέθοδος ενεργού ιλύος και το σύστημα περιλαμβάνει (Κούγκολος, 2005):

1. Τη δεξαμενή αερισμού, όπου οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτείται στα απόβλητα με ανάδευση ή άλλων διατάξεων αερισμού.
2. Τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι παραγόμενοι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και απομακρύνονται με τη μορφή λάσπης, η οποία αποτελεί και τη δευτεροβάθμια ιλύ. Μέρος της λάσπης αυτής ανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας της ιλύος

Πιο συγκεκριμένα, τα λύματα που οδηγούνται προς τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης και αρκετό οξυγόνο, δηλαδή υπάρχουν όλες οι τροφικές και περιβαλλοντικές προϋποθέσεις για μια πλούσια ανάπτυξη αερόβιων ετεροτροφικών, χημικοσυνθετικών μικροοργανισμών, κυρίως βακτηριδίων. Οι μικροοργανισμοί οξειδώνουν ένα τμήμα της οργανικής ύλης για απόληψη ενέργειας με κύρια προϊόντα τα CO₂ και H₂O. Το υπόλοιπο τμήμα της οργανικής ύλης, συχνά το μεγαλύτερο, το μετατρέπουν σε κυτταρική μάζα νέων

μικροοργανισμών, δηλαδή στην ουσία το μεγάλο μέρος της αρχικής οργανικής ύλης μετατρέπεται πάλι σε οργανική ύλη (Ανδρεαδάκης, 2000).

Η νέα οργανική ύλη είναι εύκολα συσσωματώσιμη και καθιζήσιμη σε αντίθεση με την αρχική που δεν ήταν καθιζήσιμη. Η καθίζηση επιτυγχάνεται στη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης όπου οδηγείται συνεχώς το λεγόμενο «ανάμικτο υγρό» δηλαδή το μείγμα λυμάτων και μικροοργανισμών της δεξαμενής αερισμού. Σκοπός της καθίζησης είναι ο διαχωρισμός των στερεών. Το μεγαλύτερο μέρος της ιλύος ανακυκλώνεται στην δεξαμενή αερισμού ώστε να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση των μικροοργανισμών, ενώ ένα τμήμα της ιλύος ίσο με την καθαρή παραγωγή της, οδηγείται προς κατεργασία. Οι μικροοργανισμοί μαζί με ανόργανα στερεά αλλά και μη διασπασθέντα οργανικά στερεά συσσωματώνονται και καθιζάνουν στον πυθμένα της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης δημιουργώντας αυτό που ονομάζεται «ενεργός ιλύς» λόγω ακριβώς της υψηλής περιεκτικότητας της σε ζωντανούς μικροοργανισμούς. Τμήμα της ενεργού ιλύος επιστρέφει με άντληση (επανακυκλοφορείται) στη δεξαμενή αερισμού ώστε να μεταφερθεί εκεί η επιθυμητή συγκέντρωση μικροοργανισμών, ενώ άλλο μέρος της (περισσεύουσα ιλύς) απομακρύνεται προς τα έργα επεξεργασίας της ιλύος. Χωρίς την απομάκρυνση αυτή, η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην δεξαμενή αερισμού θα αυξάνονταν απεριόριστα (Ανδρεαδάκης, 2000).

Τέλος, η πρωτοβάθμια και η δευτεροβάθμια ιλύς που αναφέρθηκαν προηγουμένως μπορεί να αναμειχτούν δημιουργώντας έτσι ένα καινούργιο τύπο ιλύος η οποία αναφέρεται ως «μεικτή ιλύς».

2.2.4 ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της τριτοβάθμιας ή προχωρημένης επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών, που δεν έχουν απομακρυνθεί στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν κρίνεται απαραίτητη, εκτός από την περίπτωση που η επεξεργασία των λυμάτων έχει σαν στόχο την επαναχρησιμοποίηση. (Κούγκολος, 2005).

Σύμφωνα με τον Ανδρεαδάκη (2000) η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι μια πρόσθετη επεξεργασία με σκοπό την αφαίρεση υπολειπόμενων ανεπιθύμητων χημικών στοιχείων, όπως το αμμωνιακό άζωτο και ο φώσφορος, μέσα από υψηλής απόδοσης βιολογικές ή χημικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα:

- Το άζωτο καταναλώνει οξυγόνο όταν η αντίδραση της νιτροποίησης λαμβάνει χώρα στο φυσικό περιβάλλον. Είναι όμως και τοξικό στην αμμωνιακή ή νιτρική μορφή του κι είναι υπεύθυνο για τα φαινόμενα του ευτροφισμού.
- Η αφαίρεση του φώσφορου μπορεί να γίνει μέσω χημικών διεργασιών ή βιολογικής επεξεργασίας.

Οι χημικές διεργασίες περιλαμβάνουν κυρίως τη χημική καταβύθιση με την πρόσθεση κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων. Αυτή η διεργασία όμως αυξάνει τη ποσότητα της ιλύος η οποία παράγεται από μια εγκατάσταση ενεργού ιλύος, κατά περίπου 30%. Η βιολογική επεξεργασία που μπορεί να εφαρμοσθεί για την αφαίρεση του φωσφόρου περιλαμβάνει ειδικούς μικροοργανισμούς οι οποίοι μπορούν και αποθηκεύουν το φώσφορο. Με αυτόν τον τρόπο ο τελευταίος συσσωρεύεται εντός των βακτηρίων και απομακρύνεται μαζί με την υπόλοιπη ιλύ (Ανδρεαδάκης, 2000).

Γενικά η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι απαραίτητη όταν απαιτείται ένα υψηλό επίπεδο απορρύπανσης, ειδικά όταν τα λύματα διατίθενται σε ευαίσθητους αποδέκτες.

3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΛΥΟΣ

3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ

Σκοπός της επεξεργασίας της ιλύος είναι η μείωση του όγκου της ώστε να μειωθεί το κόστος επεξεργασίας και διάθεσής της, η μείωση του νερού που περιέχεται σε αυτή, ώστε να μπορεί να διατεθεί σε ένα χώρο διάθεσης στερεών αποβλήτων και η σταθεροποίηση της, δηλαδή η μετατροπή της σε αδρανή (βιολογικά σταθερή) μάζα ώστε η διάθεσή της στο περιβάλλον να είναι ακίνδυνη (Κουγκολος, 2005).

Η πιο συχνή μέθοδος επεξεργασίας ιλύος είναι η αερόβια σταθεροποίηση που αντιστοιχεί στο 80% των έργων επεξεργασίας. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, όπως σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιείται αναερόβια χώνευση και παραγωγή ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο (Καραγιαννίδης κ.ά., 2009).

Γενικότερα, τα βασικά στάδια επεξεργασίας της ιλύος είναι η πάχυνση, η χώνευση και η αφυδάτωση (Κουγκολος, 2005).

3.1.1 ΠΑΧΥΝΣΗ

Σκοπός της πάχυνσης είναι η μείωση του όγκου με απομάκρυνση μέρους του νερού που περιέχει η λάσπη. Έτσι η ιλύς που προκύπτει έχει μικρότερο όγκο, οπότε γίνεται ευκολότερη η διαχείριση της στα επόμενα στάδια (Κούγκολος, 2005). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι πάχυνσης.

Πάχυνση βαρύτητας

Η πάχυνση γίνεται σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές καθίζησης με μικρότερη διάμετρο, μεγαλύτερο βάθος και μεγαλύτερες κλίσεις πυθμένα για να διευκολύνεται η συσσώρευση και συμπύκνωση της λάσπης στη χοάνη συλλογής. Η λάσπη εισάγεται στη δεξαμενή πάχυνσης από κατάλληλη διάταξη, καθιζάνει και συμπυκνώνεται. Στη συνέχεια συλλέγεται με κατάλληλο ξέστρο που φέρει κατακόρυφες ράβδους οι οποίες περιστρέφονται μαζί με το ξέστρο και αναδεύουν ελαφρά τη λάσπη απελευθερώνοντας νερό και αέρια. Τα νερά που αφαιρούνται από τη λάσπη υπερχειλίζουν με περιμετρικό υπερχειλιστή και οδηγούνται στην είσοδο βιολογικής επεξεργασίας. Η διεργασία αυτή μπορεί να επιτύχει πάχυνση της ιλύος 2 με 8 φορές, αυξάνοντας τη συγκέντρωσή της

από μερικά γραμμάρια το λίτρο σε μερικές δεκάδες γραμμάρια ανά λίτρο (Αγγελάκης κ.ά., 2005). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η απλή λειτουργία και το χαμηλό κόστος επένδυσης. Αντιθέτως τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η μεγάλη απαίτηση χώρου και η μικρή απόδοση της μεθόδου σε βιολογική ιλύ (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Πάχυνση με επίπλευση

Η πάχυνση της λάσπης με επίπλευση γίνεται σε δεξαμενές επίπλευσης, όπου εισέρχεται λάσπη με πεπιεσμένο αέρα. Η λάσπη παρασύρεται στην επιφάνεια από τις απελευθερωμένες φυσαλίδες αέρα. Τέλος αφού συμπυκνωθεί απομακρύνεται από την επιφάνεια με κατάλληλη διάταξη. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την ιλύ δευτεροβάθμιας καθίζησης σε περίπτωση που έχει εφαρμοσθεί η μέθοδος ενεργού ιλύος. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η απλή λειτουργία και η μικρή απαίτηση χώρου, ενώ τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, η πιθανή εκπομπή οσμών και το μεγάλο κόστος επένδυσης (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Πάχυνση με μηχανικά μέσα

Η μηχανική πάχυνση γίνεται είτε με φυγοκεντρητές είτε με διατάξεις φίλτρανσης της ιλύος (περιστρεφόμενα τύμπανα και τράπεζες πάχυνσης).

Στους φυγοκεντρητές η κροκιδωμένη ιλύς φυγοκεντρίζεται και έτσι εξασφαλίζεται ικανοποιητικός διαχωρισμός της παχυμένης ιλύος από τα στραγγίσματα. Η λειτουργία των φυγοκεντρητών δεν απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και για τον λόγο αυτό μπορούν να λειτουργούν συνεχώς (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Όσον αφορά τα περιστρεφόμενα τύμπανα ή τις τράπεζες πάχυνσης η ιλύς μετά από κροκίδωση στραγγίζει με βαρύτητα διαμέσου ταινιών κατασκευασμένες από πορώδες υλικό. Τα στραγγίσματα από το συγκρότημα πάχυνσης-αφυδάτωσης συλλέγονται και οδηγούνται στην είσοδο της εγκατάστασης. Κατά την διάρκεια λειτουργίας του συγκροτήματος γίνεται συνεχής έκπλυση των ταινιών.

Γενικά τα οφέλη της πάχυνσης είναι (Μελίδης, 2008):

- Μειωμένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα δεξαμενών και απαραίτητου εξοπλισμού
- Μείωση των απαιτούμενων ποσοτήτων χημικών ουσιών που απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας της ιλύος
- Μείωση στην απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας που απαιτείται από τους χωνευτές και στην ποσότητα βοηθητικών καυσίμων που χρειάζονται για την θερμική ξήρανση ή την αποτέφρωση.
- Η μείωση του όγκου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των σωλήνων και του κόστους άντλησης κατά τη μεταφορά της
- Απευθείας διάθεση στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό

Τέλος, στον Πίνακα 2 γίνεται σύγκριση των διάφορων διεργασιών πάχυνσης.

Πίνακας 2: Σύγκριση των διαφόρων διεργασιών πάχυνσης

Διεργασία - Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πάχυνση με βαρύτητα	<ul style="list-style-type: none"> • Απλή λειτουργία • Δεν απαιτείται χρήση κροκιδωτικών • Μικρό κόστος επένδυσης και λειτουργίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη απαίτηση χώρου • Χαμηλή απόδοση σε βιολογική ιλύ
Πάχυνση με μηχανικά μέσα (Τράπεζες πάχυνσης)	<ul style="list-style-type: none"> • Συμπαγής μονάδα • Δυνατή η αυτοματοποίηση 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση • Κατανάλωση νερού για πλύση • Αναγκαία η χρήση κροκιδωτικών
Πάχυνση με μηχανικά μέσα (Φυγοκεντρητές)	<ul style="list-style-type: none"> • Συνεχής λειτουργία • Συμπαγής μονάδα • Δυνατή η αυτοματοποίηση • Μικρή απαίτηση χώρου 	<ul style="list-style-type: none"> • Συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό • Θόρυβος • Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας • Μεγάλο κόστος επένδυσης
Επίπλευση	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρή απαίτηση χώρου • Χαμηλές εκπομπές H₂S • Απλή λειτουργία 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας • Πιθανά προβλήματα οσμών • Μεγάλο κόστος επένδυσης

Πηγή: Αγγελάκης κ.ά., 2005

3.1.2 ΧΩΝΕΥΣΗ

Με τη χώνευση επιτυγχάνεται η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, η μείωση των οσμών και του όγκου της λάσπης. Μπορεί να γίνει είτε αερόβια είτε αναερόβια σε ειδικές κλειστές δεξαμενές (Κούγκολος, 2005). Χωρίζεται σε αερόβια χώνευση και σε αναερόβια χώνευση.

Αερόβια χώνευση

Η αερόβια χώνευση χρησιμοποιείται (Metcalf & Eddy, 2007):

- Για ενεργό ιλύ μεμονωμένα
- Για μίγματα ενεργού ιλύος ή ιλύος από βιοφίλτρα μαζί με πρωτοβάθμια ιλύ

Η αερόβια χώνευση της ιλύος πραγματοποιείται συνήθως σε ανοικτές δεξαμενές κατασκευασμένες με οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό δεξαμενών αερόβιας χώνευσης είναι η θερμοκρασία, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, η φόρτιση στερεών, οι απαιτήσεις αερισμού και οι απαιτήσεις για ανάμιξη. Κατά την αερόβια χώνευση πραγματοποιείται συνήθως οξείδωση οργανικού υλικού με παράλληλη νιτροποίηση.

Πιο συγκεκριμένα, η αυτόθερμη αερόβια χώνευση είναι μία μέθοδος αερόβιας χώνευσης της ιλύος που πραγματοποιείται σε περιοχή θερμοκρασιών 55-70°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με τη θερμότητα που εκλύεται από την οξείδωση του αποδομούμενου οργανικού υλικού. Η αυτόθερμη αερόβια χώνευση παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα έναντι της συνήθους αερόβιας χώνευσης (Τσώνης, 2004):

- Υψηλότερος ρυθμός επεξεργασίας
- Μικρότερη απαίτηση σε όγκο αντιδραστήρα
- Μεγαλύτερη μείωση παθογόνων μικροοργανισμών
- Μεγαλύτερη μείωση της προσέλευσης φορέων μετάδοσης παθογόνων
- Μεγαλύτερη μείωση πτητικών αιωρούμενων στερεών.

Εάν η περιεκτικότητα της ιλύος σε στερεά είναι χαμηλή ενδέχεται να μην επαρκεί η παραγόμενη θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα στους 55-70°C. Αντιθέτως εάν η περιεκτικότητα της ιλύος σε στερεά είναι υψηλή παρεμποδίζεται η ικανοποιητική ανάμιξη και μεταφορά οξυγόνου.

Γενικά, τα πλεονεκτήματα της αερόβιας χώνευσης είναι (Metcalf & Eddy, 2007):

- Μείωση των πτητικών στερεών στον ίδιο βαθμό με την αναερόβια
- Μικρότερη συγκέντρωση BOD στα επιστρεφόμενα υγρά
- Παραγωγή άοσμου και βιολογικά σταθερού τελικού προϊόντος
- Ανάκτηση των βασικών συστατικών ενός λιπάσματος
- Εύκολη λειτουργία
- Μικρό επενδυτικό κόστος
- Ικανότητα χώνευσης ιλύος, πλούσιας σε θρεπτικά συστατικά

Αντιθέτως, τα μειονεκτήματα της αερόβιας χώνευσης είναι (Metcalf & Eddy, 2007):

- Υψηλό κόστος τροφοδοσίας οξυγόνου
- Τα παραγόμενα στερεά παρουσιάζουν μικρότερη ικανότητα μηχανικής αφυδάτωσης

Παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία της αερόβιας χώνευσης είναι η θερμοκρασία, η τοποθεσία, η γεωμετρία της δεξαμενής, η συγκέντρωση των τροφοδοτούμενων στερεών, ο τύπος της μονάδας ανάμιξης και αερισμού και το είδος του υλικού της δεξαμενής (Metcalf & Eddy, 2007).

Αναερόβια Χώνευση

Στόχος της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος είναι η σταθεροποίηση των στερεών της, η δραστική μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών καθώς και η παραγωγή βιοαερίου. Αναερόβια χώνευση χαρακτηρίζεται η βιολογική διεργασία κατά την οποία οργανική ύλη μετατρέπεται κυρίως σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) με τη συνδυασμένη δράση μεικτού μικροβιακού πληθυσμού, υπό συνθήκες απουσίας οξυγόνου (O_2) (Lettinga, 1995).

Η αναερόβια χώνευση είναι μία διεργασία που εμπεριέχει έναν αριθμό από χημικές και βιοχημικές μετατροπές. Τα βασικά στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι η υδρόλυση, η μετατροπή σε οργανικά οξέα, και η μεθανογένεση. Ο βαθμός σταθεροποίησης που επιτυγχάνεται με την αερόβια χώνευση αντιστοιχεί στο ποσοστό μείωσης των πτητικών στερεών της ιλύος. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 40% έως 65%. Οι υψηλότερες τιμές μείωσης αντιστοιχούν σε πρωτοβάθμια ιλύ που περιέχει συνήθως μεγαλύτερα

ποσοστά αποδομούμενου οργανικού υλικού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό των τριών σταδίων της αναερόβιας χώνευσης είναι (Τσώνης, 2004):

- Ο χρόνος κατακράτησης των στερεών
- Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής
- Η θερμοκρασία
- Το pH
- Η παρουσία τοξικών συστατικών

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, αυτά είναι (Βλυσίδης και Μάη, 2010):

- Τροφοδοσία λάσπης σε υδαρή μορφή
- Παραγωγή ενέργειας
- Εδραιωμένη τεχνική

Αντιθέτως, τα μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι (Βλυσίδης και Μάη, 2010):

- Πρέπει να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για πλήρη σταθεροποίηση
- Κατανάλωση ενέργειας

3.1.3 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Η αφυδάτωση είναι μια φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται για την μείωση του περιεχομένου της υγρασίας. Οι εναλλακτικές μέθοδοι αφυδάτωσης που εφαρμόζονται είναι:

Με μηχανικά μέσα:

Η αφυδάτωση της λάσπης με μηχανικά μέσα είναι πολύ διαδεδομένη εξαιτίας των ελάχιστων περιβαλλοντικών οχλήσεων και του περιορισμένου χώρου που απαιτεί. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε κλειστό χώρο με σύστημα εξαερισμού ή και απόσμησης. Το πιο συνηθισμένο μηχανικό μέσο αφυδάτωσης είναι η ταινιοφίλτροπρέσσα, η οποία αποτελείται από ατέρμονες ιμάντες- ταινίες ανάμεσα στις οποίες διέρχεται η λάσπη και συμπιέζεται. Στην αρχή της ταινιοφίλτροπρέσσας ένα μέρος του νερού της λάσπης διηθείται με βαρύτητα, και στη συνέχεια το υπόλοιπο

μέρος με συμπίεση ανάμεσα στις ταινίες (Στάμου, 2004). Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αφυδάτωσης με ταινιοφίλτροπρέσσα αυτά είναι (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- Συνεχής και απλή λειτουργία
- Μέτριο κόστος επένδυσης

Αντιθέτως τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- Απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση
- Κατανάλωση νερού για πλύση
- Αναγκαία η χρήση κροκιδωτικών

Φυγοκέντριση

Μία άλλη μέθοδος είναι η φυγοκέντριση η οποία αποτελεί εξίσου μία μηχανική διεργασία, κατά την οποία με την βοήθεια της φυγόκεντρης δύναμης διαχωρίζεται η παχυμένη ύλη από τα στραγγίσματα. Οι φυγοκεντριτές χρησιμοποιούνται στις διεργασίες αφυδάτωσης καθώς είναι συμπαγείς έχουν μεγάλη παραγωγική δυνατότητα και είναι απλοί στη λειτουργία. Η φυγοκέντριση μπορεί να εφαρμοστεί και στο στάδιο της πάχυνσης (Στάμου, 2004). Τα πλεονεκτήματα της φυγοκέντρισης είναι (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- Η συνεχής λειτουργία της
- Αποτελεί συμπαγή μονάδα
- Η μέθοδος επιδέχεται αυτοματοποίηση
- Μικρή απαίτηση χώρου

Αντιθέτως τα μειονεκτήματα της είναι (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- Συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό
- Θόρυβος
- Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας
- Μεγάλο κόστος επένδυσης

Κλίνες ξήρανσης

Μία από τις απλούστερες τεχνικές αφυδάτωσης της ιλύος είναι οι ανοιχτές κλίνες ξήρανσης, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος, εφόσον οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες επιτρέπουν την λειτουργία τους όλο το έτος.

Οι συμβατικές κλίνες ξήρανσης είναι συνήθως ορθογωνικής κάτοψης, πλάτους 5 - 20 m και μήκους 15 – 50 m. Ο πυθμένας και τα τοιχώματα κατασκευάζονται από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο πυθμένας έχει κατάλληλη κλίση προς το κεντρικό άξονα της κλίνης για τη συλλογή στραγγιδίων σε διάτρητο σωλήνα στράγγισης που βρίσκεται κατά μήκος του κεντρικού άξονα της κλίνης. Η τροφοδοσία κάθε κλίνης με λάσπη γίνεται με σύστημα χειροκίνητης βάνας και εύκαμπτου σωλήνα (Στάμου, 2004). Η αφυδάτωση της ιλύος επιτυγχάνεται με την διήθηση του νερού μέσω του στραγγιστηρίου και με την εξάτμιση από την εκτεθειμένη στον αέρα επιφάνεια. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- η εύκολη και απλή λειτουργία
- το χαμηλό λειτουργικό κόστος
- το ότι προσαρμόζεται εύκολα σε μικρές εγκαταστάσεις

Αντιθέτως, στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- η μεγάλη απαίτηση χώρου
- η πιθανή παρουσία οσμών
- η απαίτηση εργατικού δυναμικού
- το γεγονός ότι η απόδοση της εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

3.2.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Η σύσταση της ιλύος εξαρτάται, από το ρυπαντικό φορτίο των προς επεξεργασία λυμάτων, από το είδος της επεξεργασίας τους, καθώς και από την επεξεργασία της ιλύος. Τα τυπικά χαρακτηριστικά της ιλύος ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3

Πίνακας 3: Τυπικά χαρακτηριστικά της ιλύος ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας

Κατηγορία Ιλύος	Α' Βάθμια Ιλύς	Βιολογική ιλύς	Μικτή Ιλύς	Χωνεμένη Ιλύς
Ξηρά ουσία (DM*) [g/L]	12	7	10	30
Πτητική ουσία (VM**) [%DM]	65	77	72	50
pH	6	7	6,5	7
C [%VM]	51,5	53	51	49
H [%VM]	7	6,7	7,4	7,7
O [%VM]	35,5	33	33	35
N [%VM]	4,5	6,3	7,1	6,2
C/N	11,4	8,7	7,2	7,9
P [%DM]	2	2	2	2
Cl [%DM]	0,8	0,8	0,8	0,8
K [%DM]	0,3	0,3	0,3	0,3
Al [%DM]	0,2	0,2	0,2	0,2
Ca [%DM]	10	10	10	10
Fe [%DM]	2	2	2	2
Mg [%DM]	0,6	0,6	0,6	0,6
Λίπη [%DM]	18	10	14	10
Πρωτεΐνες [%DM]	24	34	30	18
Θερμογόνος δύναμη [Kwh/t DM]	4.200	4.800	4.600	3.000

* Ξηρά Ουσία (Dry Matter)

**Πτητική ουσία (Volatile matter)

Πηγή: European Communities, 2001a

3.2.2 ΕΚΠΛΥΣΗ ΙΛΥΟΣ

Κατά την επαφή της ιλύος με το νερό μπορεί διάφορα συστατικά να μεταφερθούν από την ιλύ στην υγρή φάση. Για το λόγο αυτό και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από τη διάθεση και αξιοποίηση της ιλύος και γενικότερα των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει την εφαρμογή διαφόρων δοκιμών έκπλυσης. Οι δοκιμές έκπλυσης διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, οι οποίες περιλαμβάνουν στατικές και δυναμικές δοκιμές έκπλυσης, καθώς και δοκιμές έκπλυσης σε όξινες συνθήκες (Kosson et al., 2002, van der Sloot, 1996). Στόχος των δοκιμών έκπλυσης είναι η εκτίμηση της διαρροής των συστατικών από τα στερεά απόβλητα, προσομοιώνοντας διάφορες συνθήκες έκπλυσης. Επίσης, η εκτίμηση της ρύπανσης από τη διάθεση των στερεών αποβλήτων γίνεται και με την εφαρμογή δοκιμών τοξικότητας με οργανισμούς που ανήκουν σε διάφορα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας (Ferrari et al., 1999). Οι δοκιμές τοξικότητας συνήθως εφαρμόζονται στα υγρά έκπλυσης των στερεών δειγμάτων και περιλαμβάνουν οργανισμούς όπως βακτήρια, μικροφύκη και καρκινοειδή.

Οι Fjallborg et al. (2005) μελέτησαν την τοξικότητα που παρουσιάζουν τα υγρά έκπλυσης της ιλύος, μετρώντας τη συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα δειγμάτων έκπλυσης ιλύος, τα οποία συλλέγονταν κάθε μήνα για ένα έτος, από μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων της Σουηδίας. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, καθώς και η σύγκριση με το μέσο όρο συγκεντρώσεων που παρατηρούνται στις μονάδες επεξεργασίας της Σουηδίας. Επίσης εμφανίζονται τα όρια που ισχύουν στη Σουηδία και αυτά που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή κοινότητα. Για τη μέτρηση της τοξικότητας στην ίδια έρευνα, πραγματοποιήθηκε το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia Magna*, και έδειξε ως κύρια αιτία τοξικότητας τον Zn και το Cu. Ένα επιπλέον συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι η υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου μείωνε την τοξικότητα του Zn (Fjallborg et al., 2005)

Πίνακας 4: Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων της έρευνας

Μέταλλο	Συγκέντρωση μετάλλων στην ιλύ (mg/kg ΞΥ)		Όρια συγκέντρωσης	
	Υπό εξέταση ιλύς	Μ.Ο. Σουηδίας	Σουηδία	Ευρωπαϊκή κοινότητα
As	5,4	5,5 (1,6–14)	κανένα	κανένα
Cr	27	39 (10–83)	100	κανένα
Cu	510	430 (78–1.800)	600	1.000–1.750
Cd	1,2	1,4 (0,58–11)	2	20–40
Hg	1,2	1,2 (0,2–4,3)	2,5	16–25
Ni	18	22 (7–168)	50	300–400
Zn	670	680 (230–2.300)	800	2.500–4.000
Ag	10	10 (1,1–33)	κανένα	κανένα
Mn	360	280 (46–1.100)	κανένα	κανένα

Πηγή: Fjallborg et al., 2005

Η συνεχώς αυξανόμενη εφαρμογή της ιλύος ως εδαφοβελτιωτικό, και οι αναφορές για επιβάρυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα, οδήγησε στη διεξαγωγή έρευνας σχετικά με τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και θρεπτικών σε έδαφος όπου έχει γίνει εφαρμογή ιλύος για 15 χρόνια. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή κινητικότητα των μετάλλων μέσω φυσικοχημικών διεργασιών, γεγονός που υποδεικνύει κίνδυνο ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Η δοκιμή έκπλυσης του εδάφους όπου εφαρμόστηκε ιλύς έδειξε συγκεντρώσεις έως και 10 φορές περισσότερο σε σχέση με πρότυπο έδαφος όσον αφορά τα Cu, Zn. Ακόμη η διαλυτότητα των Cd, P, και S ήταν ελαφρώς αυξημένη. Ποσότητα Zn και Cd εντοπίστηκε και στα φυτά που αναπτύχθηκαν στο συγκεκριμένο έδαφος, υποδεικνύοντας υψηλή φυτοτοξικότητα (McBride et al., 1997).

Μία ακόμη έρευνα για την εκπλυσιμότητα των βαρέων μετάλλων από γεωργικά εδάφη όπου έχει εφαρμοσθεί ιλύς, πραγματοποιήθηκε στην Ταϊλάνδη από τους Parkprian et al. (2002). Η προσπάθεια εστίασε στο να γίνει κατανοητός ο μετασχηματισμός και η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων μέσα στο έδαφος. Για τη μελέτη της εκπλυσιμότητας, χρησιμοποιήθηκε δείγμα εδάφους, αντιπροσωπευτικό των εδαφών της Ταϊλάνδης, και στη συνέχεια αναμείχθηκε με αφυδατωμένη ιλύ που αντιστοιχούσε σε

φόρτιση 4 και 8 τόνους ανά εκτάριο. Η έκπλυση πραγματοποιήθηκε με απεσταγμένο νερό διαφορετικού pH (3, 5 και 6). Οι μετρήσεις έδειξαν υψηλή εκπλυσιμότητα του Mn και στις δύο περιπτώσεις φόρτισης (18-29% του συνολικού Mn). Όσον αφορά τα υπόλοιπα μέταλλα το ποσοστό εκπλυσιμότητας ήταν κατά μέσο όρο 2,5% και 7,2% αντίστοιχα για τις 2 φορτίσεις. Επίσης η δοκιμή εκπλυσιμότητας με απεσταγμένο νερό με pH 3, έδειξε να επηρεάζει σημαντικά την εκπλυσιμότητα των Cu, Zn, Cd, και Ni, όσον αφορά την χαμηλή φόρτιση. Αντιθέτως, για την υψηλή φόρτιση, μόνο δύο βαρέα μέταλλα επηρεάστηκαν από το χαμηλό pH. Εκτός του pH, παράγοντες όπως ο ρυθμός ανάμειξης, οι ιδιότητες και η μορφή του κάθε μετάλλου επηρεάζουν σημαντικά την εκπλυσιμότητα. Επίσης κατέληξαν στον συμπέρασμα ότι η ίδια η φύση του εδάφους ευνοούσε την συγκράτηση μετάλλων. Τέλος όσον αφορά το Zn, η συγκέντρωσή του στο έδαφος αυξήθηκε σημαντικά λόγω της εφαρμογής της ιλύος. Παρόλα αυτά το ποσοστό αύξησης του Zn επέτρεπε τη χρήση ιλύος για γεωργική χρήση καθώς ήταν λιγότερο από 2% (Parkpian et al., 2002).

Τέλος, όσον αφορά το νομοθετικό πλαίσιο, με την απόφαση 2003/33/EK καθορίζονται σαφή όρια χαρακτηρισμού των στερεών αποβλήτων (ΕΚ, 2002). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη απόφαση, ο χαρακτηρισμός των στερεών αποβλήτων γίνεται βάσει χημικών αναλύσεων των υγρών έκπλυσης που προκύπτουν από τα στερεά απόβλητα, μέσω συγκεκριμένων δοκιμών έκπλυσης. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι οριακές τιμές για τις διάφορες κατηγορίες αποβλήτων, με βάση την εφαρμογή στατικής δοκιμής έκπλυσης EN 12457-2, αναλογίας L/S = 10 L/kg. (Όπου L/S είναι η αναλογία υγρού/στερεού)

Πίνακας 5: Οριακές τιμές έκπλυσης της απόφασης 2003/33/EK για αναλογία υγρού/στερεού L/S= 10 L/kg (εκφραζόμενες ως mg/kg ξηράς ουσίας).

Συστατικό	Αδρανή απόβλητα	Μη επικίνδυνα απόβλητα	Επικίνδυνα απόβλητα
As	0,5	2	25
Ba	20	100	300
Cd	0,04	1	5
Cr (ολικό)	0,5	10	70
Cu	2	50	100
Hg	0,01	0,2	2
Mo	0,5	10	30
Ni	0,4	10	40
Pb	0,5	10	50
Sb	0,06	0,7	5
Se	0,1	0,5	7
Zn	4	50	200
Ιόντα χλωρίου	800	15.000	25.000
Ιόντα φθορίου	10	150	500
Θεϊκά ανιόντα	1.000	20.000	50.000
Δείκτης φαινόλης	1	-	-
DOC*	500	800	1.000
TDS**	4.000	60.000	100.000

*DOC: Διαλυμένος οργανικός άνθρακας.

**TDS: Ολικά διαλυμένα στερεά.

Πηγή: ΕΚ, 2002

Με την απόφαση 2003/33/EK θεσπίζεται μια ενιαία διαδικασία ταξινόμησης και αποδοχής των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, με βάση την ποιότητα των υγρών έκπλυσής τους. Στην απόφαση διακρίνονται οριακές τιμές για τον χαρακτηρισμό των στερεών αποβλήτων ως αδρανή, μη επικίνδυνα και επικίνδυνα απόβλητα. Σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς, η αποδοχή ενός στερεού αποβλήτου σε έναν χώρο υγειονομικής ταφής θα πρέπει να περιλαμβάνει: i) βασικό χαρακτηρισμό, ii) ελέγχους συμμόρφωσης και iii) επιτόπια επαλήθευση. Ο βασικός χαρακτηρισμός επικεντρώνεται στην κατανόηση της μακροχρόνιας συμπεριφοράς έκπλυσης του στερεού αποβλήτου και των παραμέτρων που επηρεάζουν την έκπλυσή του (π.χ. το pH). Όταν ένα στερεό απόβλητο γίνεται αποδεκτό σε έναν χώρο απόθεσης αδρανών ή μη επικίνδυνων αποβλήτων ή σε έναν χώρο απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, θα πρέπει να ακολουθούν τακτικοί έλεγχοι για τη συμμόρφωση των προδιαγραφών ποιότητας του αποβλήτου με τις αρχικές εκτιμήσεις (ΕΚ, 2002).

3.2.3 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Σύμφωνα με την πολιτική διαχείρισης αποβλήτων της ΕΕ συνιστάται η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων για γεωργική χρήση ως εδαφοβελτιωτικό ή λίπασμα λόγω της περιεκτικότητάς της σε οργανική ύλη και θρεπτικά στοιχεία. Έτσι η χρήση της ιλύος στο έδαφος εμφανίζεται ως μια πολύ ελκυστική λύση για τη διάθεσή της.

Από την άλλη πλευρά η ιλύς είναι ένα εξαιρετικά βεβαρημένο από άποψη ρύπων υλικό. Η ανεπεξέργαστη ιλύς περιέχει το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου των λυμάτων και του φορτίου των βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών, καθώς επίσης δυνητικά μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών. Για το σκοπό αυτό, στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιασθούν οι υγειονομικοί-περιβαλλοντικοί κίνδυνοι από τη διάθεση της ιλύος στη γεωργία.

3.2.3.1 ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Βαρέα μέταλλα και άλλα στοιχεία

Η ιλύς των αστικών λυμάτων περιέχει συχνά σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων όπως κάδμιο (Cd), χαλκό (Cu), νικέλιο (Ni), μόλυβδο (Pb), ψευδάργυρο (Zn), υδράργυρο (Hg) και χρώμιο (Cr) που αποτελούν δυνητικές τοξικές ουσίες για τα φυτά και τους ζωντανούς οργανισμούς. Για το λόγο αυτό αποτελούν νομοθετικά ελεγχόμενη παράμετρο ποιότητας της ιλύος αστικών λυμάτων. Εκτός αυτών υπάρχουν και άλλα στοιχεία, τα οποία, σύμφωνα με τις εθνικές νομοθεσίες διαφόρων κρατών, λαμβάνονται επίσης υπ' όψιν από τις αρμόδιες αρχές για την παροχή ή μη άδειας γεωργικής χρήσης της ιλύος αστικών λυμάτων. Τα στοιχεία αυτά είναι το αρσενικό (As), το φθόριο (F), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το σελήνιο (Se) και το θάλλιο (Th). Η προέλευση των βαρέων μετάλλων μπορεί να είναι αστική (οικιακά λύματα και απόβλητα, φαρμακευτικές ουσίες, νοσοκομειακά απόβλητα, αγωγοί νερού, απορρίμματα οδοντιατρικών κλπ.), βιομηχανική (σταθεροποιητές, κατεργασία μετάλλων κ.λπ.) ή αγροτική (φωσφορικά λιπάσματα). Εκτός αυτών, βαρέα μέταλλα μπορεί να προέλθουν από διάφορες διαδικασίες καύσης οργανικών υλικών και απορροές των δρόμων. (Smith, 1996).

Τα μέταλλα βρίσκονται στην ιλύ κυρίως σε μορφή αδιάλυτων θειούχων και ανθρακικών αλάτων ή συμπλόκων ιόντων, ή είναι ενσωματωμένα σε μικροοργανισμούς. Το ποσοστό και ο τρόπος απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων από τη λάσπη διαφέρει. Ανάλογα με την τοξικότητά τους τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Ανδρεαδάκης, 2001):

1. Βαρέα μέταλλα, όπως ο χαλκός, ψευδάργυρος, νικέλιο και χρώμιο που είναι τοξικά για τα φυτά και μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση στην γεωργική παραγωγή
2. Βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, κάδμιο και υδράργυρος που υπό κανονικές συνθήκες δεν αναχαιτίζουν την ανάπτυξη των φυτών αλλά μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές οργανικές βλάβες στους ανθρώπους και τα ζώα που καταναλώνουν τα φυτά.

Οποσδήποτε πρέπει να τονισθεί ότι τα βαρέα μέταλλα δεν καταστρέφονται στις ΜΕΑΥΑ, αν και απομακρύνονται σε ποσοστό μέχρι και 90% από το υδατικό ρεύμα (Ανδρεαδάκης, 2001).

Τα τελευταία χρόνια παρόλο που η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στην ιλύ έχει μειωθεί πάρα πολύ λόγω της βελτίωσης των μονάδων επεξεργασίας των αποβλήτων τόσο των βιομηχανιών, όσο και των αποβλήτων των πόλεων, αυτή παραμένει υψηλότερη από την αντίστοιχη στα εδάφη. Προσθέτοντας ιλύ στα εδάφη, τα βαρέα μέταλλα συγκεντρώνονται στην καλλιεργούμενη στρώση, με αποτέλεσμα η συνεχής προσθήκη ιλύος να επιφέρει σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης αυτών σε αυτή την εδαφική στρώση.

Οι σημαντικότεροι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη βαρέων μετάλλων από τα φυτά είναι το pH και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Τα περισσότερα μέταλλα είναι λιγότερο διαλυτά και συνεπώς λιγότερο διαθέσιμα στα φυτά σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH (Ανδρεαδάκης, 2001). Για το λόγο αυτό η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων χρησιμοποιήθηκε ως παράγοντας διάκρισης των εδαφών ως προς την ικανότητά τους να δέχονται ιλύ (USEPA, 1980).

Η εφαρμογή ιλύος στα εδάφη μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση ορισμένων βαρέων μετάλλων στους ιστούς των φυτών, ενώ αφήνει ανεπηρέαστη τη συγκέντρωση άλλων. Η πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τα φυτά εξαρτάται από το είδος και την ποικιλία και διαφέρουν σημαντικά στην ικανότητά τους να αφομοιώνουν στοιχεία από

τα εδάφη. Επίσης ορισμένα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στα φυτά ευκολότερα. Τέτοια στοιχεία είναι ο Zn, ο Cu και το Ni (Smith, 1996) και τα οποία είναι τα κατ'εξοχήν τοξικά στοιχεία στα φυτά.

Μεταξύ των βαρέων μετάλλων που μπορούν μέσω της τροφικής αλυσίδας να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου το κατ'εξοχήν στοιχείο είναι το Cd. Προσλαμβάνεται εύκολα και συσσωρεύεται στα φυτά που αναπτύσσονται σε εδάφη στα οποία προστέθηκε ιλύς λόγω μικρής προσροφητικότητας από το εδαφικό υλικό. Το κάδμιο αποτελεί ιδιαίτερα τοξικό ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς συσσωρεύεται στα νεφρά και στο ήπαρ με αποτέλεσμα να προκαλεί διάφορες οργανικές βλάβες. Άλλα βαρέα μέταλλα που εμφανίζουν τοξική δράση σε ζωντανούς οργανισμούς είναι ο Hg και ο Pb. Αυτά τα στοιχεία συνήθως υπάρχουν σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα εδάφη και δεν παρατηρείται σημαντική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων στα εδάφη και στους ιστούς των φυτών. Φαίνεται επομένως ότι ο κίνδυνος ρύπανσης της τροφικής αλυσίδας με Pb λόγω προσθήκης ιλύος σε εδάφη είναι πολύ μικρός (Ανδρεαδάκης, 2001). Άλλο στοιχείο που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία είναι ο Zn. Ωστόσο η συγκέντρωση του Zn στα φυτά που μπορεί να βλάψει τον άνθρωπο είναι μεγαλύτερη από εκείνη που προκαλεί τοξικότητα στα φυτά, με αποτέλεσμα να προστατεύεται ικανοποιητικά η τροφική αλυσίδα (Davis & Calton-Smith, 1984).

Παρά την σημαντική διαθέσιμη γνώση σχετικά με την μεταφορά τοξικών ανόργανων ουσιών στην τροφική αλυσίδα τα στοιχεία δεν είναι επαρκή για την στήριξη ενός Κανονισμού διάθεσης ιλύων στο έδαφος με πειστικότητα. Χαρακτηριστικό της διαπίστωσης αυτής είναι οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των ορίων συγκεντρώσεων που συνιστούν ή επιβάλλουν οι Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των ΗΠΑ (EPA) για ιλύ αρίστης ποιότητας (ποιότητα A), της Γερμανίας, της Σουηδίας, της Ολλανδίας και της Δανίας. Τα όρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 που ακολουθεί (Ανδρεαδάκης, 2001).

Πίνακας 6: Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων για γεωργική διάθεση ιλύος σε διάφορες χώρες (mg/kg ΞΥ)

Βαρέα μέταλλα	ΕΕ	Γερμανία	Σουηδία	Ολλανδία	Δανία	ΗΠΑ
Cd	20-40	5-10	4	1,25	0,8	39
Cr	Δεν έχει καθοριστεί τιμή	900	100	75	100	1.200
Cu	1.000-1.700	800	1.200	75	1.000	1.500
Ni	300-400	200	50	38	30	420
Pb	750-1.200	1.000	200	225	120	300
Hg	16-25	6-10	5	0,75	0,8	17
Zn	2.500-4.000	2.000	800	300	400	2.800

Πηγή: Ανδρεαδάκης, 2001

Οι μέσες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στην ιλύ σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, καθώς επίσης και οι οριακές τιμές που καθορίζονται με την Οδηγία 86/278/EC και την προβλεπόμενη αναθεώρησή της παρουσιάζονται στον πίνακα 7. Οι μετρήσεις αφορούν τα έτη 1998-2000. Γενικά, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χωρίς μεγάλη συνιστώσα των βιομηχανικών αποβλήτων δεν αναμένονται υπερβάσεις των παραπάνω οριακών τιμών. Η βιομηχανία είναι η κύρια πηγή συνθετικών οργανικών ενώσεων στα λύματα και κατ' επέκταση στην ιλύ (Κάρτσωνας, 2005).

Πίνακας 7 Μέση συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην ιλύ σε διάφορες χώρες της Ευρώπης [mg/kg ΞΥ] για τα έτη 1998 – 2000

Στοιχείο	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Οδηγία 86/271	20 – 40	Δεν έχει καθοριστεί τιμή	1.000 - 1.750	16 - 25	300 - 400	750 – 1.200	2.500 – 4.000
Αναθεώρηση της 86/271	10	1.000	1.000	10	300	750	2.500
Ελλάδα	0,80 – 4,10	21 - 123	117 - 580	Δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα	31 - 160	83 - 450	618 -3.448
Αυστρία	0.65 – 6,4	43 – 240	114 - 244	0,6 – 1,3	19 – 54	32 - 78	539 - 961
Βέλγιο	1,7 – 3.8	76 – 94	186 - 359	1,2 – 1,9	30 - 49	121 - 204	953 – 1.236
Δανία	1.35 – 1,4	24.6 – 25,2	220 - 242	0,9 - 1	20,2 – 20,5	47,2 – 49.8	650 - 686
Φιλανδία	0,9	44 - 52	145 - 273	0,5 – 0,7	21 - 28	11 - 23	286 - 743
Γαλλία	1,9	44	297	1,9	27	85	677
Γερμανία	1,3 – 1,4	41 - 49	289 - 302	0,9 - 1	27 – 28	60 - 63	820 - 835
Ιρλανδία	0,8 – 2.6	165	195 - 333	0,1 - 1	18 - 39	61 – 108	418 - 568
Ιταλία	2,5 – 2.9	72 - 104	247 - 293	1 – 1,4	37 - 54	87 - 95	741 - 748
Λουξεμβούργο	1,7 - 2	49 - 63	262 - 317	1,9 - 5	31 - 51	114 - 131	1.632 – 1.736
Ολλανδία	0.37	21	31	0,18	11	11	148
Πορτογαλία	0,54	18	32	0,17	9	18	139
Ισπανία	2.1 – 6.5	135 -238	277 - 303	1,2 – 2,1	46 - 59	104 -212	883 - 959
Σουηδία	0.4 – 2.9	20 - 99	32 - 454	0,18 – 4.6	9 - 39	14 - 98	131 – 1.440
Μεγάλη Βρετανία	0,9 – 3.4	25 - 113	393 - 512	0,8 – 5,2	16 - 52	31 - 204	455 – 1.670

Πηγή: Κάρτσωνας, 2005

Η προοπτική της μείωσης των ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων βαρέων μετάλλων που περιλαμβάνονται στην Οδηγία 86/278/EC στο άμεσο μέλλον, ενδιαφέρει ιδιαίτερα την ελληνική πραγματικότητα. Και τούτο γιατί η αναθεώρηση επιβάλλει να εφαρμοστούν σε σημαντικό βαθμό τα μέτρα που είναι απαραίτητα για την εξασφάλιση καλύτερης ποιότητας ιλύος. Στην Ελλάδα σύμφωνα με το ισχύον νομικό πλαίσιο, σε εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 86/278/EC και της ΚΥΑ 80568/4225/91, οι ανώτερες επιτρεπόμενες τιμές των βαρέων μετάλλων στα εδάφη, στα οποία πρόκειται να

εφαρμοσθεί ύλς, στην ίδια την ύλ και στις επιτρεπόμενες ποσότητες γεωργικής χρησιμοποίησης ύλς σε ετήσια βάση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 (Κάρτσωνας, 2005).

Πίνακας 8: Οριακές τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στις περιπτώσεις γεωργικής χρησιμοποίησης ύλς αστικών λυμάτων, για το έδαφος, την ύλ και το φορτίο ετήσιας εδαφικής εφαρμογής, σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 86/278/EC και την ΚΥΑ 80568/4225/91

Βαρέα μέταλλα	Έδαφος (mg/kg ΞΥ)	Ύλς (mg/kg ΞΥ)	Φορτίο (g/ha/έτος)
Cd	1-3	20-40	150
Cr	Δεν έχει οριστεί τιμή	Δεν έχει οριστεί τιμή	Δεν έχει οριστεί τιμή
Cu	50-140	1.000-1.750	12.000
Ni	30-75	300-400	3.000
Pb	50-300	750-1.200	15.000
Hg	1-1,5	16-25	100
Zn	150-300	2.500-4.000	30.000

Πηγή: Κάρτσωνας, 2005

Περισσότερο αναλυτικά και με μεγαλύτερη ακρίβεια, οι ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα εδάφη που πρόκειται να δεχθούν ύλ, καθορίζονται, σε εφαρμογή της ΚΥΑ 80568/4225/91 και της ΚΥΑ 114218/97, σε άμεση συσχέτιση με την προοπτική αναθεώρησης της παραπάνω Οδηγίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg ΞΥ)

Μέταλλο	ΚΥΑ 80568/4225/91 και 114218/97 (για pH 6 ως 7)	Αναθεώρηση οδηγίας 86/278/EC Πρόταση ΕΕ (3 rd Draft, 2000)		
		5<pH<6	6<pH<7	pH>7
Cd	1-3	0,50	1,00	1,50
Cr	Δεν έχει καθοριστεί τιμή	30	60	100
Cu	50-140	20	50	100
Ni	30-75	15	50	70
Pb	50-300	70	70	100
Hg	1,0-1,5	0,10	0,50	1,00
Zn	150-300	60	150	200

Πηγή: Κάρτσωνας, 2005

Για την ιλύ, οι ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων που καθορίζονται σε εφαρμογή της ΚΥΑ 80568/4225/91 και της ΚΥΑ 114218/97, καθώς και η προοπτική αναθεώρησης της παραπάνω Οδηγίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Οριακές τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στην ιλύ (mg/kg ΞΥ)

Μέταλλο	ΚΥΑ 80568/4225/91 και 114218/97	Αναθεώρηση οδηγίας 86/278/EC Πρόταση ΕΕ (3 rd Draft, 2000)
Cd	20-40	10
Cr	Δεν έχει καθοριστεί τιμή	1.000
Cu	1.000-1.750	1.000
Ni	300-400	300
Pb	750-1200	750
Hg	16-25	10
Zn	2.500-4.000	2.500

Πηγή: Κουλουμπής κ.ά., 2007

Αξιοσημείωτο είναι το εξής: όταν η ιλύς έχει όξινο pH ή όταν αυτή εφαρμόζεται σε όξινα εδάφη ή σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσοχή και να λαμβάνονται τα αντίστοιχα μέτρα. Τα μέτρα αυτά αφορούν την αποφυγή φαινομένων ρύπανσης των εδαφών και των υδροφορέων, μέσω της κίνησης του εδαφικού νερού. Μάλιστα, όταν τα εδάφη έχουν pH ίσο ή χαμηλότερο του 5, τότε απαγορεύεται εντελώς η εδαφική εφαρμογή ιλύος (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Φυτοτοξικότητα Βαρέων μετάλλων

Τα βαρέα μέταλλα που περιέχονται στην ιλύ είναι οι κύριοι παράγοντες εκδήλωσης φυτοτοξικών φαινομένων. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί ώστε να διερευνηθούν οι επιπτώσεις αυτές. Σε σχετική έρευνα, τρία είδη φυτών (*Triticum aestivum*, *Brassica campestris* και *Phaseolus aureus*) χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση φυτοτοξικών φαινομένων από την χρήση ιλύος μονάδων επεξεργασίας της πόλης Lucknow στο έδαφος. Τη μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσίασε ο μόλυβδος (Pb), ενώ το χρώμιο (Cr) τη μικρότερη. Και τα τρία είδη φυτών έδειξαν υψηλή ευαισθησία καθώς και η ρίζα και ο βλαστός τους παρουσίασε υψηλή αναστολή ανάπτυξης, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ιλύς της πόλης Lucknow δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογή στο έδαφος καθώς προκαλεί σημαντικά φαινόμενα

φυτοτοξικότητας (Srivastava et al., 2005). Παρόμοια έρευνα η οποία αφορούσε την απόθεση αφυδατωμένης ίλύος σε έδαφος (90t/ha και 180t/ha) όπου καλλιεργείται μαρούλι πραγματοποιήθηκε στην πόλη Frielas (κοντά στην Λισσαβόνα), για την τοξική επίδραση των βαρέων μετάλλων που περιέχεται στην ίλύ μονάδων επεξεργασίας. Δεν παρατηρήθηκαν φυτοτοξικά φαινόμενα παρά μόνο αύξηση συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Domingues, 1991). Τέλος, ίλύς από 6 διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Χαβάης εξετάστηκαν ως προς τη σύστασή τους. Η περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα (Cd, Cu, Fe, Ni, και Zn) ήταν εντός των επιτρεπόμενων ορίων σύμφωνα με την USEPA. Στη συνέχεια τα δείγματα αναμείχθηκαν με αντιπροσωπευτικό τροπικό έδαφος. Το υπό εξέταση φυτό ήταν το καλαμπόκι (*Zea mays L.*). Τα εδάφη που περιείχαν ίλύ η οποία είχε υποστεί αναερόβια χώνευση αύξησαν τη βιομάζα του καλαμποκιού, σε αντίθεση με τα εδάφη που περιείχαν ίλύ η οποία δεν είχε υποστεί αναερόβια χώνευση όπου παρατηρήθηκε μείωση της βιομάζας του. Επιπλέον, η έρευνα υπέδειξε το Mn να είναι κυρίως υπεύθυνο για τη φυτοτοξικότητα που παρατηρήθηκε, ενώ το Ca και το Zn έδειξαν να αναστέλλουν τη φυτοτοξικότητα του Mn (Hue and Ranjith, 1994).

3.2.3.2 ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Η μικροβιολογική ποιότητα της ιλύος ελέγχεται από τη συγκέντρωση μικροοργανισμών. Ο αριθμός και ο τύπος παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχει η ιλύς που προέρχεται από την επεξεργασία των λυμάτων, ποικίλει ανάλογα με το χρόνο, τη γεωγραφική περιοχή, τις τοπικές περιστάσεις και την υγεία του τοπικού πληθυσμού. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί η κύρια πηγή ρύπανσης των λυμάτων είναι τα ανθρώπινα περιττώματα. Η πανίδα (τροφικά) και η χλωρίδα η οποία θα μπορούσε να αναπτυχθεί στους υπονόμους και τα περιττώματα των ζώων διαμέσου των απορροών θα μπορούσαν επίσης να συνεισφέρουν στη ρύπανση των αποβλήτων καθώς και βιομηχανίες τροφίμων (γαλακτοβιομηχανίες), ή σφαγεία που είναι συνδεδεμένα με τους υπονόμους.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορεί να είναι ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα ή διάφορα παράσιτα. Τα βακτήρια μπορούν να πολλαπλασιαστούν οπουδήποτε, αρκεί να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες γι'αυτά. Τα περισσότερα βακτήρια αδρανοποιούνται σε θερμοκρασίες πάνω από τους 70°C, σε σύντομη χρονική περίοδο. Ωστόσο και χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι εξίσου αποτελεσματικές όταν εφαρμόζονται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Εντούτοις, ορισμένα βακτήρια έχουν την ιδιότητα να παράγουν ενδοσπόρια, όπως τα κλωστρίδια, οπότε απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρης θανάτωση αυτών. Τα παθογόνα βακτήρια των θηλαστικών αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 35-40°C, ενώ είναι δύσκολο να πολλαπλασιαστούν γρήγορα σε θερμοκρασίες μικρότερες των 25°C (Carrington, 2001). Για τον πολλαπλασιασμό τους χρειάζονται επίσης τις κατάλληλες θρεπτικές ουσίες και νερό. Επειδή λοιπόν ο φυσικός βιότοπος αυτών των οργανισμών είναι το έντερο, οι θρεπτικές ουσίες δεν λείπουν από τα λύματα και την ιλύ. Οι ιοί είναι ανίκανοι να πολλαπλασιαστούν έξω από τα ζωντανά κύτταρα ενός οργανισμού, αλλά μπορούν να επιβιώσουν κάτω από δυσμενείς συνθήκες. Τα παράσιτα από την άλλη πλευρά, έχουν την ιδιότητα να επιβιώνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κάποιοι σκώληκες όπως οι *Taenia spp* και *Ascaris spp*, έχουν εξελίξει τα αυγά τους ώστε να επιτύχουν τη μεταφορά τους από τον ένα οργανισμό στον άλλο. (Deportes et al., 1995)

Κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων, συνήθως δεν επιτυγχάνεται πλήρης καταστροφή των παθογόνων. Παθογόνα τα οποία θα μπορούσαν να ευρεθούν στην ιλύ παρουσιάζονται στον Πίνακα 11

Πίνακας 11: Παθογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται στην ιλύ

Βακτήρια	Ελμίνθες	Ιοί	Μύκητες	Πρωτόζωα
<i>Salmonella spp.</i>	<i>Taenia saginata</i>	<i>Poliovirus</i>	<i>Aspergillus spp.</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>
<i>Shigella spp.</i>	<i>Taenia solium</i>	<i>Coxsackievirus</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Giardia lamblia</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Diphyllobothrium latum</i>	<i>Echovirus</i>	<i>Phialophora richardsii</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>	"New" enterovirus	<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Sarcocystis</i>
<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Adenovirus</i>	<i>Trichophyton spp.</i>	
<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Ancylostoma duodenale</i>	<i>Reovirus</i>	<i>Epidermophyton spp.</i>	
<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Toxocara canis</i>	<i>Rotavirus</i>		
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Toxocara cati</i>	<i>Astrovirus</i>		
<i>Vibrio cholera</i>	<i>Trichuris trichura</i>	<i>Calcivirus</i>		
<i>Mycobacterium spp.</i>		<i>Coronavirus</i>		
<i>Leptospira spp.</i>		<i>Norwalk agent</i>		
<i>Campylobacter spp.</i>		<i>Small round viruses</i>		
<i>Staphylococcus</i>		<i>Parvovirus Adenoassociated</i>		
<i>Streptococcus</i>				

Πηγή: European Communities, 2001b

Οι κλασικές μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος, όπως η αερόβια και η αναερόβια χώνευση στις ΜΕΑΥΑ μειώνουν σημαντικά (περίπου 3-4 φορές) τον αριθμό των βακτηρίων και των ιών. Στην αδρανοποίηση των ιών παίζει σημαντικό ρόλο η αμμωνία που εκλύεται κατά την αναερόβια χώνευση καθώς και η μείωση της υγρασίας της ιλύος που επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της αφυδάτωσης. Τα αυγά των παρασίτων, όπως *Ascaris spp.* και *Taenia spp.* παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στις διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος και μπορούν να επιβιώσουν σε αυτή για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μέχρι και τρία χρόνια κατά την αποθήκευση του κομποστ ιλύος). Ρόλο

στην αδρανοποίηση των παρασίτων παίζουν η αφυδάτωση της ιλύος καθώς και η ωρίμανσή της σε συνθήκες που προσομοιάζουν αυτές της λιπασματοποίησης. Συνήθως χρόνοι ωρίμανσης της τάξης των 1 έως 2 μηνών αρκούν για την καταστροφή των παρασίτων (Dèportes et al., 1995).

Σε περίπτωση όμως γεωργικής χρησιμοποίησης της ιλύος σε νωπή κατάσταση, δηλαδή όπως η ιλύς εξέρχεται από τις ΜΕΑΥΑ, χωρίς να προηγηθεί στάδιο υγιεινοποίησης, μπορούν να προκληθούν μέσω της άμεσης μετάδοσης παθογόνων, σοβαρά υγεινολογικά προβλήματα σε ανθρώπους, ζώα και καλλιεργούμενα φυτά, καθώς επίσης και επικίνδυνες περιβαλλοντικές διαταραχές με την είσοδο των παθογόνων στη βιοκοινωνία. Για το σκοπό αυτό πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την πλήρη υγιεινοποίηση της ιλύος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην γεωργία, πριν την εφαρμογή της στο έδαφος, προκειμένου η ιλύς να απαλλαχθεί πλήρως από τα παθογόνα, τα οποία αδρανοποιούνται με την έκθεσή τους στη θερμότητα (γενικά ο ρυθμός θνησιμότητας διπλασιάζεται για άνοδο της θερμοκρασίας κατά 10°C, ενώ αυτά γενικά είναι ευαίσθητα και στις μεταβολές του pH (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Τα παθογόνα είναι φυσικά παρόντα στο περιβάλλον. Εκείνα που εισάγονται μετά από εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος είναι κυρίως παρόντα στην επιφάνεια του εδάφους, στα φυτά και σε μικρά βάθη του εδάφους όταν η λάσπη έχει παραχωθεί. Η διείσδυση των παθογόνων στο έδαφος εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους (συγκεκριμένα την περιεκτικότητα του σε άργιλο) καθώς και από την περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη. Η διείσδυση των παθογόνων σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους μπορεί επίσης να αυξηθεί σε περιπτώσεις που έχουμε την παρουσία ρωγμών, παρατεταμένη ξηρασία, ή απουσία βλάστησης. Πειράματα με βακτήρια, ιούς και παράσιτα προερχόμενα από λάσπη δείχνουν ότι τα περισσότερα παραμένουν στα πρώτα εκατοστά του εδάφους, ενώ ένα μικρό ποσοστό μπορεί να εισχωρήσει βαθύτερα (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Η επιβίωση των παθογόνων στο έδαφος εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, όπως η ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία, το pH και τα χαρακτηριστικά του εδάφους (σύσταση, υγρασία κλπ.), η ποσότητα της εφαρμοζόμενης λάσπης, τα περιεχόμενα παθογόνα στη λάσπη και ενδεχομένως η παρουσία ανταγωνιστικών οργανισμών. Η επιβίωσή τους είναι μικρότερη το καλοκαίρι, σε εδάφη με όξινο pH καθώς και σε εδάφη με λίγη οργανική ουσία. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν τα βιολογικά

χαρακτηριστικά των παθογόνων και ιδιαίτερα ο τρόπος που μπορούν να επιβιώσουν, με το χρόνο επιβίωσης τους να ποικίλει από λίγες μέρες μέχρι μερικά χρόνια ανάλογα με την περίπτωση (Dèportes et al., 1995).

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται ο χρόνος επιβίωσης διαφόρων τύπων παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος και στα φυτά.

Πίνακας 12: Χρόνος επιβίωσης διαφόρων τύπων παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος και στα φυτά

Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Στο έδαφος		Στα φυτά	
	Απόλυτο μέγιστο	Σύνηθες μέγιστο	Απόλυτο μέγιστο	Σύνηθες μέγιστο
Βακτήρια	1 έτος	2 μήνες	6 μήνες	1 μήνας
Ιοί	1 έτος	3 μήνες	2 μήνες	1 μήνας
Κύστες πρωτόζωων	10 ημέρες	2 ημέρες	5 ημέρες	2 ημέρες
Αυγά ελμίνθων	7 έτη	2 έτη	5 μήνες	1 μήνας

Πηγή: Τσώνης, 2004

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στον άνθρωπο, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις σε ποικίλα μολυσματικά επίπεδα. Οι άνθρωποι μπορεί να επηρεασθούν από την κατανάλωση μολυσμένων φυτών ή προϊόντων κρέατος από ζώα τα οποία έχουν βοσκήσει μολυσμένα φυτά ή έδαφος. Όσον αφορά την επιβίωση των μικροοργανισμών στον καρπό και στο φυτικό ιστό πρέπει να σημειωθεί ότι τα παθογόνα βακτήρια και οι ιοί δεν έχουν την ικανότητα να προσροφηθούν στο εσωτερικό των καρπών, παρά μόνο στην περίπτωση που υπάρχει τραυματισμός στο φλοιό τους (Dèportes et al., 1995).

Οι παθογόνοι οργανισμοί μπορεί να είναι ανθεκτικοί μετά τη συγκομιδή, την αποθήκευση και κατά την επεξεργασία της τροφής (το ξεφλούδισμα, το πλύσιμο στην περίπτωση των λαχανικών και ιδιαίτερα το μαγείρεμα είναι κρίσιμα στάδια). Άρα η επίδραση αφορά μόνο τρόφιμα που καταναλώνονται ωμά, ή μισομαγειρεμένα. Πάντως για λόγους πρόληψης ασθενειών συνιστάται να αποφεύγεται εντελώς η κατανάλωση των καρπών αν δεν έχει μεσολαβήσει ένας μήνας τουλάχιστον από την απόθεση της ύλης. Ένας άλλος τρόπος έκθεσης μπορεί να αφορά την απευθείας επαφή με τη λάσπη. Αυτό θα μπορούσε να αφορά εργάτες και αγρότες που χειρίζονται ή απλώνουν τη

λάσπη ή σε μερικές περιπτώσεις παιδιά ή ανθρώπους κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων τους.

Προκειμένου να εξασφαλισθούν προϋποθέσεις ελαχιστοποίησης των παραπάνω κινδύνων που μπορούν να εμφανισθούν στην προκειμένη περίπτωση, τα διάφορα κράτη έχουν θεσπίσει ανάλογα εθνικά όρια (Πίνακας 13).

Η Οδηγία 86/278/EC δεν περιλαμβάνει πληροφορίες αναφορικά με ανώτατες τιμές συγκεντρώσεων παθογόνων, που πρέπει να τηρούνται στις περιπτώσεις εδαφικής εφαρμογής της ιλύος.

Πίνακας 13: Ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές συγκεντρώσεων παθογόνων στην ιλύ που προορίζεται για γεωργική χρήση

Κράτος	Salmonella spp.	Άλλα παθογόνα
Γαλλία	8 MPN [*] /10 g ιλύος (ΞΥ)	Αυγά ελμινθών
Ιταλία	1000 MPN /10 g ιλύος (ΞΥ)	-
Λουξεμβούργο	Δεν έχει οριστεί τιμή (ΞΥ)	Εντεροβακτήρια: 100/ g ιλύος
Πολωνία	Ιλύς που περιέχει Salmonella δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία	Παράσιτα: 10/kg ιλύος (ΞΥ)

* MNP: (Most Probable Number) ο πλέον πιθανός αριθμός μικροοργανισμών.

Πηγή: Κουλουμπής κ. ά., 2007

Τέλος, η πρόληψη έχει πάντοτε κυρίαρχη σημασία για την αποφυγή δυσμενών φαινομένων, πολύ περισσότερο βεβαίως στην περίπτωση της γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος των αστικών λυμάτων. Για το σκοπό αυτό, προκειμένου να μειωθεί η επιβάρυνση της ιλύος με παθογόνους μικροοργανισμούς, πρέπει να δοθεί σημασία στον προληπτικό έλεγχο των λυμάτων (αποφυγή της απόρριψης ιατρικών, νοσοκομειακών αποβλήτων και απορριμμάτων χωρίς κάποια επιπλέον επεξεργασία), τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο αποχέτευσης, στο πλαίσιο βεβαίως του ισχύοντος νομικού πλαισίου διαχείρισης ιατρικών αποβλήτων (Κουλουμπής κ. ά., 2007).

3.2.3.3 ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Στην ιλύ των αστικών λυμάτων μπορεί να περιέχεται πλήθος συνθετικών οργανικών ενώσεων, οι οποίες είναι τοξικές και πολύ ανθεκτικές στην αποσύνθεση και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται από υψηλή οικοτοξικολογική σημασία. Τέτοιες ενώσεις μπορεί να είναι τα υπολείμματα και προϊόντα μεταβολισμού από πετρελαιοειδή και λιπαντικά, τα προϊόντα καύσης, οικιακά απορρυπαντικά, καλλυντικά, απόβλητα χλωρίωσης πόσιμου νερού, οργανικοί διαλύτες, απολυμαντικές ουσίες, φαρμακευτικές ενώσεις, ορμόνες και συναφή παράγωγα, φυτοφάρμακα, αντιβιοτικά, πλαστικοποιητές καθώς και συνθετικά πρόσθετα του τομέα τεχνολογίας τροφίμων (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Οι πιο συνήθεις οργανικοί ρυπαντές είναι:

- **ΡΑΗ: (πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακες):** Οι ΡΑΗ αποτελούνται από 2 έως 7 αρωματικούς δακτυλίους και βρίσκονται συνήθως σε υγρή μορφή. Μπορεί να είναι έντονα τοξικοί, σε μεγάλες όμως δόσεις και για μεγάλη σε διάρκεια έκθεση. Όταν εισέλθουν στον οργανισμό, κατανέμονται στους ιστούς και ιδιαίτερα στους λιπώδεις. Στην ιλύ οι πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακες προέρχονται από τα καυσαέρια οχημάτων και τις επιφανειακές απορροές του οδοστρώματος, τα καυσαέρια βιομηχανικών θερμικών μονάδων, που καταλήγουν στο έδαφος μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και τα βιομηχανικά απόβλητα. Η συγκέντρωση των αρωματικών υδρογονανθράκων στην ιλύ, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα, κυμαίνεται από 0,02 έως 10 mg/kg ΞΥ. Οι περισσότεροι ΡΑΗ βιοαποδομούνται αργά, έχουν πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό και παραμένουν για πολλά χρόνια στο έδαφος (χρόνος ημίσειας ζωής \approx 10 χρόνια). Γενικά, η πρόσληψη τους από τα φυτά είναι μικρή και δύσκολα φτάνουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας. Σε σχέση βέβαια με τα PCBs (πολυχλωριωμένα διαφαινύλια) μεταφέρονται πιο εύκολα στα φυτά (Αγγελάκης κ.ά., 2005)
- **PCB: (πολυχλωριωμένα διφαινύλια):** Τα PCBs δεν είναι φυσικά προϊόντα και σχηματίζονται ως παραπροϊόντα διαφόρων χημικών, και παραγωγικών διεργασιών, όπως κατά την παραγωγή χλωρίνης ή φυτοφαρμάκων, κατά την καύση της βενζίνης, απορριμμάτων, ξύλου ή πετρελαίου και κατά την λεύκανση

του χαρτοπολλτού κλπ. Θεωρούνται καρκινογενή, σύμφωνα με πειράματα που έχουν γίνει σε ζώα. Έχουν επίσης νευροαναπτυξιακές επιπτώσεις, όπως μείωση του IQ, αύξηση υπερκινητικότητας, καταθλιπτικής συμπεριφοράς, μετάλλαξη στις λειτουργίες των αντισωμάτων, διαταραχές στο ήπαρ και το έντερο. Τα PCBs που συναντώνται στην ιλύ, προέρχονται από την βιομηχανία και τα πετρελαιοειδή καθώς και από προϊόντα καθημερινής χρήσης όπως χαρτιά και τροφές. Η συγκέντρωση των PCBs στην ιλύ κυμαίνεται από 0 έως 250 mg/kg ΞΥ. Θεωρούνται σταθερά φυσικοχημικά και βιολογικά. Είναι λιπόφιλα και έχουν την τάση να συγκεντρώνονται στην ιλύ και στην οργανική ύλη του εδάφους. Τα PCBs έχουν επίσης ανιχνευθεί στα επιφανειακά νερά, δεδομένης όμως της ισχυρής δέσμευσης τους στο έδαφος, δεν θεωρείται ότι μετακινούνται εύκολα προς τα υπόγεια νερά. Τέλος, τείνουν να βιο-συσσωρεύονται στους υψηλούς θηρευτές (predators) της τροφικής αλυσίδας (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

- **PCDD/F: (Πολυχλωριωμένες δι-βενζοδιοξίνες και δι-βενζοφουράνια)** Οι διοξίνες και τα φουράνια δεν διαφέρουν πολύ ως προς την μοριακή τους δομή. Αποτελούνται και οι δύο ενώσεις από δύο χλωριωμένους δακτυλίους βενζολίου. Η βασική μοριακή διαφορά τους με τα PCBs είναι ο βαθμός χλωρίωσης. Οι PCDD/PCDF είναι παρόντα στο περιβάλλον σε εξαιρετικά μικρές συγκεντρώσεις. Δεν χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, ωστόσο είναι παραπροϊόντα της καύσης. Δημιουργούνται για παράδειγμα κατά την φάση παρασκευής φυτοφαρμάκων, αντισηπτικών, απολυμαντικών συντηρητικών ξύλου κατά την λεύκανση χαρτοπολλτού, κατά την παραγωγή χλωρίνης κλπ. Παράγονται επίσης σε μικρές ποσότητες κατά την διάρκεια δασικών πυρκαγιών. Μεταξύ όλων των διοξινών και φουρανίων, 17 ενώσεις θεωρούνται τοξικές (περιέχουν περισσότερα από 4 χλώρια). Σύμφωνα με τον οργανισμό WHO η ανώτερη ανεκτή ημερήσια πρόσληψη είναι 10 pg ανά κιλό οργανισμού. Στην ιλύ, οι διοξίνες και τα φουράνια προέρχονται από παραπροϊόντα της βιομηχανίας (βιομηχανικά απόβλητα), από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις και αποθέσεις στα φυτά και στο έδαφος και από φυτοφάρμακα. Η συγκέντρωση των PCDD/PCDF στην ιλύ κυμαίνεται μεταξύ 0,01 και 200 mg/kg ΞΥ. Οι διοξίνες και τα φουράνια είναι φυσικοχημικά και βιολογικά σταθερές ενώσεις και λιπόφιλες. Συνήθως συσσωρεύονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (topsoil). Όπως προαναφέρθηκε, οι διοξίνες και τα φουράνια είναι εξαιρετικά

λιπόφιλες ενώσεις και ως εκ τούτου δεν αναμένεται σημαντική μετακίνηση τους από το έδαφος προς τους υδάτινους αποδέκτες. Ο σημαντικότερος μηχανισμός πρόσληψης διοξινών και φουρανίων από τα φυτά είναι η απορρόφηση από τα ανώτερα μέρη των φυτών. Η χρήση της ύλης στην γεωργία μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα έκθεσης των ζώων σε διοξίνες και φουράνια. Σχετικά με τον άνθρωπο, υπάρχει μεγάλος αριθμός δίοδων των διοξινών και των φουρανίων στον οργανισμό και τα επίπεδα συγκέντρωσης εξαρτώνται από τις διατροφικές συνήθειες. Δεδομένου ότι οι διοξίνες και τα φουράνια είναι λιπόφιλες, η κατανάλωση ζωικών και γαλακτοκομικών τροφών αποτελεί βασική δίοδο των συγκεκριμένων ενώσεων στον οργανισμό του ανθρώπου. Αντίθετα το πόσιμο νερό και τα ψάρια θεωρούνται τροφές με χαμηλά επίπεδα επικινδυνότητας ως προς τις διοξίνες και τα φουράνια (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

- **LAS: (ενώσεις θειϊκού αλκυλοβενζολίου)** Τα LAS είναι επιφανειοδραστικές ενώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως στα απορρυπαντικά. Η κύρια προέλευση αυτών των ενώσεων στην ύλη, είναι η καθημερινή (βιομηχανική και οικιακή) χρήση απορρυπαντικών. Τα LAS συσσωρεύονται στην ύλη αλλά υπόκεινται σε γρήγορη βιοαποικοδόμηση κάτω από αερόβιες συνθήκες. Εξαιτίας αυτών των χημικών ιδιοτήτων τα επίπεδα LAS είναι πολύ υψηλότερα στην αναερόβια παρά στην αερόβια χωνεμένη ύλη. Η συγκέντρωση LAS στην ύλη κυμαίνεται μεταξύ 10 και 19.000 mg/kg ΞΥ. Τα LAS δεν συσσωρεύονται στο έδαφος σε επίπεδα που να θεωρούνται τοξικά. Σχετικά με την μετακίνηση των LAS στα υπόγεια ύδατα, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία και μελέτες. Κάτι ανάλογο ισχύει και για την μεταφορά του LAS στον ανθρώπινο οργανισμό. Εκτιμάται ότι τα όρια ασφάλειας που ισχύουν για την χρήση της ύλης στην γεωργία ή/και την άρδευση με επεξεργασμένα λύματα θεωρούνται περισσότερο από επαρκή για την προστασία των οργανισμών και των ζώων (Αγγελάκης κ.ά., 2005).
- **NPE: Nonylphenol and Nonylphenoethoxylates** (παράγωγα των εννεύλφαινολών) Οι NPE είναι επίσης επιφανειοδραστικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή απορρυπαντικών. Οι εννεύλικές φαινόλες σχηματίζονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων κατά τη διάρκεια

της χώνευσης της λάσπης. Η κύρια προέλευση αυτών των ενώσεων στην ιλύ, είναι η καθημερινή (βιομηχανική και οικιακή) χρήση απορρυπαντικών. Όταν όμως συγκεντρώνονται (συσσωρεύονται) στην ιλύ υπόκεινται σε γρήγορη βιοαποικοδόμηση κάτω από αερόβιες συνθήκες. Η συγκέντρωση NPE στην ιλύ κυμαίνεται από 32 έως 45 mg/kg ΞΥ. Η αποικοδόμηση τους λαμβάνει χώρα κάτω από αερόβιες συνθήκες και μόνο εφόσον δεν υπάρχει ανασχεση της μικροβιακής δραστηριότητας. Τα φυτά δεν προσλαμβάνουν τις ενώσεις NP. Η βασική δίοδος του NPE στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μέσω της κατανάλωσης πόσιμου νερού, η περιεκτικότητά του όμως στις συγκεκριμένες ενώσεις δεν επηρεάζεται από την χρήση της ιλύος στην γεωργία (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

- **DEHP: Di(2-ethylexyl)phthalate** (εστέρες του φθαλικού οξέος) Χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως πλαστικοποιητές στη χημική βιομηχανία, όπως είναι η παραγωγή PVC, καθώς επίσης και στα ιατρικά μηχανήματα. Στην ιλύ τα DEHP προέρχονται από τα απόβλητα βιομηχανιών πλαστικού, καθώς επίσης και από πλαστικά που μπορεί να καταλήξουν στα λύματα. Η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 20 έως 660 mg/kg ΞΥ. Οι DEHP έχουν μικρή υδατοδιαλυτότητα και ως εκ τούτου η απορρόφηση τους από το έδαφος είναι υψηλή. Οι DEHP συσσωρεύονται στο έδαφος μετά από χρήση ιλύος, μόνο όταν οι εφαρμοζόμενες ποσότητες της ιλύος είναι μεγάλες. Σε συνήθεις εφαρμογές, υπό αερόβιες συνθήκες δεν παρατηρείται συσσώρευση εξαιτίας του πολύ μικρού χρόνου ημίσειας ζωής των συγκεκριμένων ενώσεων. Δεδομένου ότι η πρόσληψη DEHP από τα φυτά είναι περιορισμένη, η συσσώρευση αυτών των ενώσεων στους φυτικούς ιστούς είναι μικρή και επομένως η εφαρμογή της ιλύος στην γεωργία αναμένεται να συνεισφέρει πολύ λίγο στην συνολική έκθεση σε DEHP (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Μεταξύ των παραπάνω οργανικών ρύπων, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), οι πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες και τα διβενζοφουράνια (PCDD/F) περιλαμβάνονται στον κατάλογο των 12 περισσότερο επικίνδυνων οργανικών ρύπων (persistent organic pollutants, POPs) της Σύμβασης της Στοκχόλμης (Stockholm Convention). Οι παραπάνω ρύποι (POPs) συνιστούν επιβλαβείς οργανικές ενώσεις. Οι ιδιότητές τους είναι ιδιαίτερες επικίνδυνες αφού παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στην

διάσπαση, διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον, και επιπλέον μπορούν να συσσωρευτούν στους λιπώδεις ιστούς ζώντων οργανισμών και να παρουσιάσουν πολύ μεγάλη τοξικότητα σε ανθρώπους και ζώα (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Οι περισσότεροι από αυτούς τους ρύπους συγκαταλέγονται στους λεγόμενους ενδοκρινικούς διαταράκτες (endocrine disrupters), οι οποίοι, μπορούν να διαταράξουν την ορμονική ισορροπία του ανθρώπινου οργανισμού και να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα

Ο σχετικός προβληματισμός αφορά το ερώτημα εάν οι δεδομένες οργανικές ενώσεις βρίσκονται α) σε σημαντικές συγκεντρώσεις στην ιλύ, β) αν συνυπάρχουν οι κατάλληλες εδαφικές συνθήκες (υγρασία, αερισμός, οργανική ουσία, θρεπτικά, pH) και οι βιοχημικές δίοδοι εισόδου στον άνθρωπο, στα ζώα ή στα φυτά, και γ) εάν επηρεάζεται σημαντικά η οικολογική ισορροπία του εδάφους. Ιδιαίτερη σημασία επίσης έχει ο συνδυασμός των επιδράσεων των οργανικών ρύπων με τους άλλους παράγοντες (βαρέα μέταλλα, παθογόνα). Σε αντίθεση με τα βαρέα μέταλλα, οι οργανικοί ρύποι υπόκεινται στο έδαφος σε πολύπλοκες διαδικασίες αποδόμησης. Με τη συνδυασμένη επίδραση των μικροοργανισμών, της πανίδας του εδάφους, και άλλων αβιοτικών παραγόντων, διάφορες οργανικές ενώσεις μετατρέπονται τελικά σε πτητικά, υδατοδιαλυτά και στερεά προϊόντα (Κουλουμπής κ.ά. 2007).

Όσον αφορά την επίδραση των οργανικών ενώσεων στα φυτά, έρευνα για την οικοτοξικολογική επίδραση επεξεργασμένης ιλύος και ειδικότερα για τα εκπλύματα της, διεξήχθη σε τρία είδη φυτών (*Lolium perenne L.*, *Brassica rapa L.*, and *Trifolium pratense L.*) (Ramirez et al., 2008). Η μελέτη έδειξε ότι η ποσότητα των οργανικών ενώσεων επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη των φυτών σε αντίθεση με την περιεκτικότητα νιτρικών και αμμωνίας που δείχνει να ευνοεί την ανάπτυξή τους. Το συμπέρασμα ήταν πως η φυτοτοξικότητα σχετίζεται κυρίως με τις υδρόφιλες ενώσεις, παρά με της υδρόφοβες.

Μόνο ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν θεσπίσει στην εθνική τους νομοθεσία περιορισμούς στις τιμές των οργανικών ρυπαντών για γεωργική χρήση των ιλύων που όμως δεν συμφωνούν μεταξύ τους ως προς το είδος των χημικών και τα όρια των συγκεντρώσεων (Ανδρεαδάκης, 2001) Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι στο τρίτο

σχέδιο Αναθεώρησης της Οδηγίας 86/278/EC καθορίζονται οριακές τιμές, όσον αφορά στις σύνθετες οργανικές ενώσεις (Πίνακας 14)

Πίνακας 14: Οριακές τιμές για τις σύνθετες οργανικές ενώσεις [mg/kg ΞΥ]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ
ΑΟΧ*	500
LAS	2.600
DEHP	100
NPE	50
PAH	6
PCB	0.80
PCDD/F	100

*Προσροφημένα οργανικά αλογόνα

Πηγή: Αγγελάκης κ.ά., 2005

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Ν.1565/1985, άρθρο 1, § 2 -ΦΕΚ 164/Α'/26.09.1985 και Ν. 2732/1999, άρθρο 6 -ΦΕΚ 154/Α'/30.07.1999), η ύλη, όπως εξέρχεται από τις ΜΕΑΥΑ, δεν μπορεί να καταταχθεί άμεσα στα λιπάσματα, ή στα εδαφοβελτιωτικά, εφ' όσον δεν έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία και δεν έχει εμπλουτισθεί με θρεπτικά συστατικά (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών πραγματοποιήθηκε μια σημαντική αλλαγή στους διαθέσιμους τρόπους διάθεσης της ιλύος. Πριν το 1998, η ιλύς πρωταρχικά ριχνόταν στη θάλασσα. Σε πόλεις μάλιστα που γειτόνευαν με ανοικτές θάλασσες (ωκεανούς), η πιο συνηθισμένη μέθοδος τελικής διάθεσης της λάσπης ήταν η απευθείας άντληση και απόρριψή της σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή. Άλλη, εναλλακτική λύση ήταν η χρήση της ιλύος ως λίπασμα στη γεωργία ή η αποτέφρωσή της ή απλώς η απόθεση στο έδαφος. Σύμφωνα όμως με την Οδηγία 91/271/EC για την επεξεργασία των λυμάτων, μετά την 31η Δεκεμβρίου 1998 απαγορεύεται η διάθεση της ιλύος στα επιφανειακά νερά, εξαιτίας των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούσε στους υδάτινους αποδέκτες (Κάρτσωνας, 2005). Επιπλέον, η ευρωπαϊκή οδηγία φρενάρει την διάθεση της ιλύος στο έδαφος, αν και το 35-45% της ιλύος στην Ευρώπη εναποτίθεται ακόμα στο έδαφος. Οι τρεις κυριότεροι τρόποι διάθεσης της ιλύος, παραμένουν ουσιαστικά οι ίδιοι τα τελευταία πενήντα χρόνια και είναι οι παρακάτω(Κάρτσωνας, 2005):

- Η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος είναι η κύρια μέθοδος διάθεσης της ιλύος. Το 37% της παραγόμενης λάσπης στην Ευρώπη χρησιμοποιείται στην γεωργία
- Η καύση ή αποτέφρωση, είναι επίσης μία από τις αρκετά συνηθισμένες μεθόδους (τελικής) διάθεσης της λάσπης, που παράγει όμως σαν «παραπροϊόν» τέφρα, η οποία ενδεχομένως να είναι τοξική, επομένως θα πρέπει να διατεθεί σε κατάλληλη ειδική χωματερή και να μην απορριφθεί ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον. Το 11% της παραχθείσας ιλύος στην Ευρώπη αποτεφρώνεται
- Η υγειονομική ταφή (ΧΥΤΑ), το 40% της ιλύος αποτίθεται στο έδαφος

Άλλοι τρόποι διάθεσης, είναι η χρήση στη δασοπονία, η αποκατάσταση των εδαφών, και η διάθεση σε τσιμεντοβιομηχανία.

Η επιλογή του τρόπου διάθεσης των παραπροϊόντων επεξεργασίας είναι μία διαδικασία κατά την οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μεταξύ άλλων (Κάρτσωνας, 2005):

- Η διαθεσιμότητα των αποδεκτών (έδαφος, βιομηχανία κλπ.)
- Το ενδιαφέρον των χρηστών του τελικού προϊόντος
- Οι απαιτούμενες δαπάνες για την επεξεργασία και διάθεση της ιλύος

4.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η νομοθεσία που αφορά τη διαχείριση ιλύος εστιάζεται κυρίως στη χρήση της ιλύος στη γεωργία. Η διάθεση της ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής ή η καύση της σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων υπόκειται σε μια πιο γενική νομοθεσία για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί εστιάζουν κυρίως στην ιλύ που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, καθώς η κάλυψη του εδάφους από ιλύ βιομηχανικής προέλευσης υπεισέρχεται σε κανονισμούς που αφορούν την ταφή αποβλήτων και γενικά το στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων κάθε χώρας.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν την διαχείριση, απόρριψη και ανακύκλωση της ιλύος (European Communities, 2001c):

- **86/278/EE:** αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και κυρίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία. Αυτή η οδηγία καθορίζει ελάχιστα ποιοτικά κριτήρια για το έδαφος και για την ιλύ και οροθετεί προϋποθέσεις παρακολούθησης του εδάφους όταν η ιλύς επιστρώνεται σε γεωργική γη
- **91/271/EE:** αφορά την επεξεργασία αστικών λυμάτων την προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές συνέπειες της απόθεσης των λυμάτων. Αυτή η οδηγία θέτει ελάχιστα κριτήρια εκροής για την επεξεργασία των λυμάτων η οποία θα πρέπει να είχε επιτευχθεί σε στάδια, μέχρι το τέλος του 2005 και ορίζει προχωρημένη επεξεργασία για την απομάκρυνση του αζώτου και του φώσφορου από την ιλύ που προορίζεται προς «ευαίσθητες» περιοχές. Οι «ευαίσθητες» περιοχές ορίζονται ως: περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες σε ευτροφισμό και επιφανειακά ύδατα τα οποία προορίζονται για άντληση πόσιμου νερού
- **91/676/EE:** αφορά τη προστασία των υδάτων ενάντια στη ρύπανση που προκαλείται από νιτρικά λιπάσματα που προέρχονται από τη γεωργία, γνωστή ως και η οδηγία των νιτρικών.
- **1999/31/EE:** περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Αυτή η οδηγία στοχεύει στη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγούνται στους Χ.Υ.Τ.Α. και απαγορεύει τη ταφή υγρών αλλά και μη επεξεργασμένων αποβλήτων

- **2003/33/EE**: για τον καθορισμό κριτηρίων και διαδικασιών αποδοχής των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής σύμφωνα με το άρθρο 16 και το παράρτημα II της Οδηγίας 1999/31/EC.
- **2000/76/EE**: για την αποτέφρωση των αποβλήτων. Αυτή η οδηγία καθορίζει οριακές τιμές εκπομπών στοιχείων που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα, τα οποία προέρχονται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων

Όσον αφορά τα ελληνικά νομοθετήματα που σχετίζονται με τη ιλύ είναι:

- **N. 1650/86**: για την προστασία του περιβάλλοντος.
- **KYA 80568/4225/1991**: για τη χρήση της ιλύος που προέρχεται από οικιακά και αστικά απόβλητα στη γεωργία (ΦΕΚ 6641/91, 07-08-1991).
- **KYA 82805/2224/1993**: για την αποφυγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την αποτέφρωση αποβλήτων (ΦΕΚ 699/93).
- **KYA 5673/400/1997**: μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων (ΦΕΚ192/Β', 14-3-1997).
- **KYA 114218/97**: Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΦΕΚ 1016/97).
- **KYA 29407/3508/2002**: Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (ΦΕΚ1572/02).
- **KYA 50910/2727/2003**: Μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης (ΦΕΚ 1909/03).

Με την ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/EC, χωρίς τροποποιήσεις. Έχει γίνει μόνο προσθήκη ορίων για το χρώμιο, δηλαδή 500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI).

Στη ΚΥΑ 114218/1997 καθορίζονται Τεχνικές Προδιαγραφές διαχείρισης της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Ειδικότερα προδιαγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος (πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση, ξήρανση, καύση και κομποστοποίηση ιλύος). Όσον αφορά στη διάθεση της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων προδιαγράφεται μόνο η διάθεση της ιλύος στη γεωργία, παραπέμποντας πρακτικά στην ΚΥΑ 80568/4225/91.

Με την ΚΥΑ 50910/2727/2003 εντάσσεται στη ελληνική νομοθεσία ο Ευρωπαϊκός Κώδικας Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με τον οποίο α) τα απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων και β) η λάσπη σηπτικής δεξαμενής, εντάσσονται στο Κεφάλαιο 20 ως δημοτικά απόβλητα και γίνονται δεκτά σε ΧΥΤΑ. Με την ίδια ΚΥΑ καθορίζεται ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των μη επικίνδυνων αποβλήτων στα οποία περιλαμβάνεται και η ιλύς από ΜΕΑΥΑ. Κύριος στόχος του Εθνικού Σχεδιασμού για την ιλύ από Μ.Ε.Α.Υ.Α είναι η επίτευξη υψηλού ποσοστού αξιοποίησης με αντίστοιχη μείωση του ποσοστού τελικής διάθεσης. Σύμφωνα με την παραπάνω ΚΥΑ, η αξιοποίηση της ιλύος επιτυγχάνεται με τις ακόλουθες δράσεις:

- απευθείας χρήση σε αγροτικές εφαρμογές, σύμφωνα με τους περιορισμούς της ΚΥΑ 80568/4225/91,
- επανένταξη στο φυσικό περιβάλλον «τραυματισμένων» φυσικών ανάγλυφων, υπό την προϋπόθεση ότι η ιλύς θα είναι σταθεροποιημένη ή θα έχει υποστεί συνεπεξεργασία με άλλα μη επικίνδυνα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα, όπως το οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων
- ξήρανση της ιλύος και χρήση της ως καύσιμη ύλη.

4.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΙΛΥΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων παράγονται μεγάλες ποσότητες ιλύος με μεγάλο ρυπαντικό φορτίο οι οποίες απαιτούν περιβαλλοντικά ασφαλείς μεθόδους χρησιμοποίησης ή διάθεσης της πλεονάζουσας ιλύος. Με την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας και συγκεκριμένα της υπ' αριθμόν 91/271/ΕΟΚ οδηγίας περί επεξεργασίας αστικών λυμάτων, αναμένεται μέσα στην επόμενη δεκαετία δραματική αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων ιλύος.

Σύμφωνα με την πολιτική διαχείρισης αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνιστάται η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Στην περίπτωση της παραγόμενης ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων η κύρια μέθοδος ανακύκλωσης είναι η γεωργική χρήση της ιλύος ως εδαφικό βελτιωτικό ή λίπασμα. Οι κυριότερες μέθοδοι διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα έτη 1984 και 1992 δίδονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης για τα έτη 1984 και 1992

Χώρα	Γεωργική Διάθεση %		Υγειονομική Ταφή %		Καύση %		Θαλάσσια Διάθεση %	
	1984	1992	1984	1992	1984	1992	1984	1992
Αγγλία	53	44	16	8	7	7	24	30
Βέλγιο	28	29	51	55	21	15	0	-
Γερμανία	32	27	59	54	9	14	0	-
Δανία	44	54	30	20	26	24	0	-
Γαλλία	28	58	52	27	20	15	0	-
Ελλάδα	0	10	100	90	0	0	0	-
Ιταλία	34	33	55	55	11	2	0	-
Ιρλανδία	30	12	17	45	0	10	52	35
Ισπανία	62	50	10	35	28	5	0	10
Σουηδία	60	40	40	60	0	0	0	-
Ολλανδία	64	26	28	51	3	3	5	-

Πηγή: Ανδρεαδάκης, 2001

Γενικά, για την διαχείριση των παραπροϊόντων από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων θα πρέπει πρώτιστα να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους σε χωματερές. Έπειτα, να λαμβάνονται όλα τα ενδεικνυόμενα μέτρα για τον περιορισμό της ποσότητας των παραπροϊόντων επεξεργασίας, καθώς και να εξετάζονται μέθοδοι και τρόποι επαναχρησιμοποίησης των παραπροϊόντων. Τελικά, η διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ θα πρέπει να εξετάζεται μόνο σαν προσωρινή λύση. Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγεται ο τόπος διάθεσης της ιλύος συνοψίζονται παρακάτω (Ντούλας κ.ά., 2007):

- Περιβαλλοντικά. Θα πρέπει να εξετάζονται όλες οι επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διάθεσης.
- Οικονομικά. Για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διαχείρισης των παραπροϊόντων επεξεργασίας πρέπει να προσδιορίζεται το κόστος επένδυσης, οι ετήσιες δαπάνες για την λειτουργία και συντήρηση, καθώς επίσης και τα τυχόν έσοδα από την επαναχρησιμοποίηση των παραπροϊόντων επεξεργασίας.
- Κοινωνικά. Για οποιοσδήποτε εναλλακτικές λύσεις θα πρέπει να γίνεται ενημέρωση του κοινού και των φορέων, να παρουσιάζονται οι επιπτώσεις και τα μέτρα που λαμβάνονται, τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να εξασφαλιστεί η κοινωνική αποδοχή

4.2.1 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Όπως συμβαίνει γενικά με τα στερεά απόβλητα, η επεξεργασία της ιλύος μετά την παραγωγή της είναι απαραίτητη για την περαιτέρω χρήση της. Βάσει του άρθρου 10, § 1 της ΚΥΑ 50910/2727/ 2003, κάθε μορφής ανεξέλεγκτη απόρριψη της ιλύος όπως οι χωματερές, απαγορεύεται αυστηρά, για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο, με την έννοια «σταθεροποίηση ιλύος» εννοούμε τη διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται (Κουλουμπής κ.ά., 2007) :

- Ελάττωση του όγκου & του δυναμικού ενέργειας της ιλύος, μέσω της μείωσης της τιμής των απωλειών καύσης
- Ελάττωση του δυναμικού παραγωγής αερίων
- Αποκατάσταση του επιθυμητού βαθμού υγιεινοποίησης της ιλύος
- Περιορισμός δυσάρεστων οσμών
- Βελτίωση της ικανότητας αφύγρανσης της ιλύος

Οι πιο συνήθεις διαδικασίες σταθεροποίησης της ιλύος είναι (Κουλουμπής και Τσαντήλας, 2010):

- Η βιολογική επεξεργασία
- Η κομποστοποίηση
- Η αναερόβια ζύμωση
- Η χημική σταθεροποίηση [αλκαλική επεξεργασία]
- Η θερμική επεξεργασία

Στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των πιο διαδεδομένων μεθόδων σταθεροποίησης.

Σταθεροποίηση Της Ιλύος Μέσω Ασβεστοποίησης

Η ασβεστοποίηση της ιλύος συνίσταται στην προσθήκη ασβέστη και τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου μίγματος με τιμή του $\text{pH} \geq 12$ ώστε να καταστραφεί ή να περιορισθεί η βιομάζα που είναι κατάλληλη για την αποδόμηση οργανικών ουσιών. Η διεργασία βοηθά την απολύμανση της ιλύος, αυξάνει το περιεχόμενο ξηρής ύλης και διευκολύνει την εργασιμότητα του προϊόντος. Η δόση του ασβέστη εξαρτάται από τον τύπο της ιλύος, το οργανικό περιεχόμενο και τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος. Η προσθήκη ασβέστη έχει τις εξής κυρίες συνέπειες (Ανδρεαδάκης κ.ά. 2006) :

- Η αντίδραση μεταξύ ασβέστη και νερού της ιλύος παράγει θερμότητα, η οποία υποβοηθά στην καταστροφή παθογόνων (στην περίπτωση του CaO).
- Το υψηλό pH του μίγματος ιλύος/ασβέστη δεν ευνοεί την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Η προσθήκη ασβέστη αυξάνει το περιεχόμενο ξηράς ουσίας του μίγματος και μειώνει το ποσοστό οργανικών. Στην περίπτωση του CaO η αντίδραση μεταξύ ασβέστη και νερού αυξάνει ακόμα περισσότερο το περιεχόμενο ξηράς ουσίας του μίγματος. Η αύξηση της ξηρής ουσίας εξαρτάται από την αρχική περιεκτικότητα ξηράς ύλης στη ιλύ και τη δόση ασβέστη.

Η ασβεστοποίηση της ιλύος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων υγειονομοποίησης ιδιαίτερα στη περίπτωση των ΜΕΑΥΑ μικρής κλίμακας καθώς (Ανδρεαδάκης κ.ά. 2006):

- παράγει προϊόν που μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους και με δυνατότητα πώλησής του,
- προϋποθέτει απλή τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοσθεί με βασιμότητα, χωρίς εξειδικευμένο προσωπικό,
- χαρακτηρίζεται από έργα που είναι εύκολα να κατασκευαστούν,
- καταλαμβάνει μικρό χώρο,
- παρουσιάζει λειτουργική απλότητα με δυνατότητα άμεσης εκκίνησης ή διακοπής
- δεσμεύει με πιο σταθερό τρόπο τα μέταλλα αποτρέποντας έτσι την έκλυσή τους
- βελτιώνει τα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος καθιστώντας ευκολότερη τη διαχείρισή του.

Δυνητικά μειονεκτήματα της μεθόδου μπορεί να θεωρηθούν η αύξηση του όγκου του τελικού προϊόντος, κατά 15-20% περίπου και το ενδεχόμενο δημιουργίας οσμών κατά την εφαρμογή της, κυρίως λόγω εξαέρωσης της αμμωνίας. Κατά συνέπεια η ασβεστοποίηση της ιλύος σε μικρές και μεσαίες ΜΕΑΥΑ, λόγω της απλότητας της μεθόδου αλλά και της αποτελεσματικότητάς της ως προς την υγειονομοποίηση συνιστάται ως μέθοδος προχωρημένης επεξεργασίας της ιλύος καθώς τα χαρακτηριστικά του προκύπτοντος προϊόντος δεν ενέχουν κινδύνους που αφορούν τη διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ ή στη γεωργία. (Ανδρεαδάκης κ.ά. 2006)

Σταθεροποίηση ιλύος με χρήση ιπτάμενης τέφρας

Ένα είδος πρόσθετου υλικού με κατάλληλες ποζολανικές ιδιότητες που χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση ιλύος είναι και η ιπταμένη τέφρα (Ι.Τ.), που προκύπτει σε ποσότητες που ξεπερνούν τα 9 εκατομμύρια τόνους το χρόνο, από την καύση του λιγνίτη στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των περιοχών Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης. Το συγκεκριμένο υλικό, κατά το πρόσφατο παρελθόν έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία δειγμάτων ιλύος βιολογικού καθαρισμού, ιδιαίτερα υψηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, σε αναλογίες από (τέφρα:ιλύς) 1:1 μέχρι και 1:9 (Guironas et al., 1991)

Ειδικότερα, από αποτελέσματα δοκιμών έκπλυσης μειγμάτων φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση της Ι.Τ. στη δέσμευση των βαρέων μετάλλων της ιλύος. Αυτό βέβαια που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η αύξηση της ποσότητας της Ι.Τ. δεν επιφέρει και αναλογικά αποτελέσματα μείωσης της εκπλυσιμότητας των βαρέων μετάλλων. Μέσω πειραμάτων, προκύπτει ότι η αναλογία του 1:1 είναι η βέλτιστη δυνατή για την πρακτική εφαρμογή μιας τέτοιας μεθόδου σταθεροποίησης. Η αναλογία αυτή λοιπόν είναι η βέλτιστη λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα που επιτυγχάνει ως προς τη σταθεροποίηση της ιλύος αλλά και τα οικονομικά, καθώς έχει μικρότερα κόστη μεταφοράς, εγκαταστάσεων και επεξεργασίας (Σκιτζί κ.ά., 2005).

Η προσθήκη λοιπόν της Ι.Τ. επιτυγχάνει, μέσω της εκμετάλλευσης του μεγάλου ποσοστού της σε CaO, την αύξηση του pH των μειγμάτων στην τιμή 12 για μεγάλο χρονικό διάστημα και κατ'επέκταση την μείωση του μικροβιακού φορτίου των ιλύων. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται αναστολή, σε ένα μεγάλο ποσοστό, της εκπλυσιμότητας των βαρέων μετάλλων της ιλύος, καθιστώντας τη ένα βέλτιστο μέσο σταθεροποίησης

Σταθεροποίηση/στερεοποίηση ιλύος με χρήση τσιμέντου

Η μέθοδος της σταθεροποίησης/στερεοποίησης είναι μια ευρέως διαδεδομένη διαδικασία για την ακινητοποίηση επικίνδυνων συστατικών των αποβλήτων, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα. Αυτή περιλαμβάνει την ανάμειξη των αποβλήτων με κάποια συνδετικά υλικά, ώστε να μειωθεί η εκπλυσιμότητα των επικίνδυνων συστατικών τους. Τα συνδετικά υλικά διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οργανικά και ανόργανα, με το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο ανόργανο υλικό, το τσιμέντο (Boura et al. , 2003).

Η επιτυχία μιας τέτοιας προσπάθειας ίσως προσφέρει μια εναλλακτική λύση της διάθεσης της ιλύος σε ΧΥΤΑ. Στην περίπτωση μάλιστα που η ιλύς χρησιμοποιείται σε υγρή μορφή, αποφεύγεται και η ξήρανση αυτής που είναι οικονομικά ασύμφορη και ενεργειακόβαρα (Σκιτζί κ.ά., 2005).

4.2.2 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ

Μέχρι σήμερα η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο διάθεση της ιλύος που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στον ελλαδικό χώρο η οποία αν και είναι ιδιαίτερα ευχερής και οικονομική προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον (Κάρτσωνας, 2005). Επιπλέον η απόρριψη της ιλύος στους ΧΥΤΑ επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας των, επιταχύνει το ρυθμό υπερπλήρωσής των δημιουργώντας συνθήκες κακής προοπτικής και προκαλώντας ιδιαίτερη ανησυχία στις τοπικές κοινωνίες.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, με τη νέα στρατηγική διαχείρισης των αποβλήτων στην ΕΕ (Οδηγία 1999/31/ΕΕ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων), προβλέπεται ότι τα βιοαποικοδομήσιμα αστικά απόβλητα που οδεύουν στους ΧΥΤΑ θα πρέπει να μειωθούν, όπως παρακάτω (Κάρτσωνας, 2005):

- μέχρι το 2006 στο 75% της συνολικής ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995,
- μέχρι το 2009 στο 50% της συνολικής ποσότητας που είχαν παραχθεί το 1995,
- μέχρι το 2016 στο 35% της συνολικής ποσότητας που είχαν παραχθεί το 1995.

Στην περίπτωση των χωρών που μέχρι και την ψήφιση της Οδηγίας στηριζόταν στην υγειονομική ταφή για τη διάθεση περισσότερο από 80% της ποσότητας των αποβλήτων τους, η Οδηγία προβλέπει παράταση 4 ετών στα προαναφερθέντα όρια. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η Ελλάδα.

Αρα η λύση της Υγειονομικής Ταφής μπορεί να επιλέγεται μόνο όταν δεν υπάρχει άλλος εναλλακτικός τρόπος διάθεσης.

Στις χώρες – μέλη ισχύουν περιορισμοί σχετικά με τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ. Έτσι στη Γαλλία, επιτρέπεται η διάθεση ιλύος εκεί, μόνο αν η ξηρή μάζα της αφυδατωμένης ιλύος είναι μεγαλύτερη από 30%, ενώ στην Ολλανδία μόνο αν η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη είναι μικρότερη του 10% της περιεκτικότητας σε ξηρά στερεά. Αντίθετα στη Σουηδία δεν γίνεται αποδεκτή ιλύς σε ΧΥΤΑ μετά το 2005, ενώ στη Γερμανία επιτρέπεται η διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ μόνο όταν ικανοποιούνται οριακές

τιμές που αφορούν εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά της ιλύος και εφόσον η οργανική ύλη είναι μικρότερη του 5%.

Υπάρχουν δύο τρόποι υγειονομικής ταφής της ιλύος (Κάρτσωνας, 2005):

1. Η μονο-διάθεση (mono-deposit), όταν ο ΧΥΤΑ χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την διάθεση ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων
2. Η συν-διάθεση (mixed-deposit), όταν ο ΧΥΤΑ χρησιμοποιείται και για την διάθεση απορριμμάτων

Στη μονό-διάθεση (mono-deposit) περιοριστικός παράγοντας είναι η περιεκτικότητα της ιλύος σε νερό, δεδομένου ότι δημιουργούνται προβλήματα στην ευστάθεια των πρηνών, τόσο κατά την απόθεση όσο και κατά την συμπύκνωση της ιλύος. Συνήθως η συγκέντρωση της ιλύος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 35%.

Με την συνδιάθεση της ιλύος με στερεά απόβλητα (mixed-deposit), η ιλύς αντιπροσωπεύει το 20% έως 25% του συνολικού όγκου του προς διάθεση υλικού. Στη περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν οι ίδιοι περιορισμοί ως προς την περιεκτικότητα της ιλύος σε υγρασία, ωστόσο ο χειρισμός της παραμένει δύσκολος στη περίπτωση που η συγκέντρωση της αφυδατωμένης ιλύος είναι μικρότερη του 35% σε στερεά (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Στην Ελληνική Νομοθεσία δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Ανεξάρτητα από αυτό, για να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος στους ΧΥΤΑ θα πρέπει να έχει επαρκή μηχανικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με το άρθρο 7, της ΚΥΑ 29407/3508/2002 για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, όλα τα απόβλητα και οπωσδήποτε η ιλύς που γίνονται αποδεκτά στους ΧΥΤΑ πρέπει να έχουν υποστεί προηγουμένως επεξεργασία (Κουλουμπής κ.ά., 2007). Για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος μπορεί να εφαρμοστεί ανάμειξή της με εδαφικά υλικά καθώς και με άνυδρο ασβέστη. Τέλος η ιλύς μετά από κομποστοποίηση ή ξήρανση δεν θα πρέπει να απορρίπτεται στους ΧΥΤΑ διότι ενώ διαθέτει ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά, είναι πλούσια σε βιοδιασπάσιμα υλικά (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

4.2.3 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πολλές φορές η ιλύς που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι κατάλληλη για απευθείας αξιοποίηση και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία της. Μία από τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους επεξεργασίας της είναι η κομποστοποίηση. Πρόκειται για βιολογική διεργασία από την οποία παράγεται υγιειονοποιημένο compost ικανοποιώντας την Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία που προάγει την επαναχρησιμοποίηση της βιολογικής ιλύος στη γεωργία. (www.mesogeos.gr)

Το composting εντάσσεται στις διαδικασίες ανακύκλωσης που προωθεί και η ΕΕ δεδομένου ότι μετατρέπει την ιλύ των βιολογικών καθαρισμών και διαφόρων οργανικών υπολειμμάτων, σε ένα βελτιωτικό εδάφους (compost). Το compost, επανερχόμενο στο έδαφος συμβάλει στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης μέσα από τη συνεχή δόμηση και αποδόμηση της, διατηρώντας ταυτόχρονα την γονιμότητα του εδάφους σε υψηλά επίπεδα και γενικότερα έχει ιδιαίτερα ευνοϊκές επιπτώσεις στην βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Αλλα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης είναι ότι επιτυγχάνεται πλήρης σταθεροποίηση, παράγεται προϊόν προστιθέμενης αξίας ενώ υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης εξώθερμων αντιδράσεων που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία (Βλυσίδης και Μάη, 2010).

Στην περίπτωση της ιλύος, η ποιότητά της επηρεάζεται από την ποιότητα των επεξεργαζόμενων υλικών. Εάν μαζί με τα αστικά λύματα επεξεργάζονται και υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών, τότε υπάρχει η πιθανότητα η ιλύς να είναι ιδιαίτερα φορτισμένη σε βαρέα μέταλλα και τοξικές ουσίες και εμπεριέχει σοβαρούς κινδύνους η χρησιμοποίησή της, καθώς δια μέσου της τροφικής αλυσίδας μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα όσον αφορά το περιβάλλον και τον άνθρωπο (Ελενίτσας, 2003).

Η ιλύς των περισσότερων ελληνικών αστικών λυμάτων δεν περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και τοξικών ουσιών, και ως εκ τούτου η πιο ενδεδειγμένη και ιδανική μέθοδος αξιοποίησής τους να είναι η κομποστοποίησή τους. Στην περίπτωση της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών, η συνηθέστερη μέθοδος αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι η πρόσμειξη της με διάφορα διογκωτικά υλικά, τα οποία ενισχύουν την δομή της ιλύος και βελτιώνουν τις συνθήκες αερισμού, με

αποτέλεσμα να εξασφαλίζονται ευκολότερα και σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο οι αερόβιες συνθήκες μέσα στη μάζα του compost (Ελενίτσας, 2003).

Αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί η εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα την σε σημαντικό βαθμό μείωση της έκλυσης ανεπιθύμητων δυσάρεστων οσμών, δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή τα παραγόμενα οργανικά οξέα έχουν περισσότερο σταθερή σύσταση και αποδομούνται με αργό ρυθμό (Ελενίτσας, 2003).

Η κομποστοποίηση αποτελεί την περισσότερο δόκιμη, εύχρηστη, αξιόπιστη και οικονομική μέθοδος σταθεροποίησης της ιλύος και γίνεται με τους εξής τρόπους: (Κουλουμπής και Τσαντήλας, 2010).

- Σε σειράδια [επιμήκεις ανοικτούς σωρούς]
- Σε αεριζόμενους σταθερούς ή εκτεταμένους σωρούς
- Σε βιοαντιδραστήρες [κλειστά συστήματα]

Τέλος, έρευνες έχουν διεξαχθεί για την μελέτη της επίδρασης της κομποστοποίησης στη φυτοτοξική δράση που σχετίζεται με τη χρήση της ιλύος στο έδαφος. Σύμφωνα με τους Miao et al (2009) η κομποστοποίηση μειώνει το pH της ιλύος, την περιεκτικότητά της σε οργανικό υλικό καθώς και την περιεκτικότητα σε Cu, Zn και Pb. Δείγματα ιλύος που λήφθηκαν κατά τα διάφορα στάδια της κομποστοποίησης, έδειξαν ότι η ανάπτυξη της ρίζας και του βλαστού του φυτού *Brassica Chinensis* αυξάνεται κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Παρόλα αυτά δεν εντοπίστηκε συσχέτιση της ποσότητας των βαρέων μετάλλων που περιέχονται στην ιλύ με την ανάπτυξη των υπό εξέταση φυτών.

Άλλη έρευνα πραγματοποιήθηκε με αντικείμενο την επίδραση της κομποστοποίησης σε ιλύ μονάδων επεξεργασίας, όσον αφορά την φυτοτοξικότητα των συστατικών της ιλύος (Oleszczuk, 2008). Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δείγματα ιλύος από 4 διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας, τα οποία υποβλήθηκαν σε κομποστοποίηση για 76 μέρες. Το φυτό που εξετάστηκε ήταν το *Lepidium sativum*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ιλύς πριν την κομποστοποίηση προκάλεσε πλήρη αναστολή ανάπτυξης της ρίζας του φυτού, γεγονός που συνεπάγεται ένδειξη υψηλής

φυτοτοξικότητας, ενώ δείγματα που λαμβάνονταν κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης αλλά και μετά την ολοκλήρωση της, έδειξαν σταδιακή μείωση των φυτοτοξικών φαινομένων (Oleszczuk, 2008).

4.2.4 ΚΑΥΣΗ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι θερμικής επεξεργασίας της ιλύος όπως η καύση, η θερμική οξειδωση και η πυρόλυση. Η καύση αποτελεί την πιο ελκυστική μέθοδο διάθεσης της ιλύος ιδιαίτερα στην Ευρώπη. Σκοπός της καύσης της ιλύος αρχικά είναι η ελάττωση του όγκου της, η μετατροπή της δηλαδή σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου (Jensen and Jepsen, 2005). Τα κύρια πλεονεκτήματα της καύσης της ιλύος είναι (Jensen and Jepsen, 2005):

- η δραστική μείωση όγκου και βάρους της αφυδατωμένης ιλύος
- η καταστροφή ή σταθεροποίηση των τοξικών ουσιών
- η ανάκτηση ενέργειας από τη θερμότητα
- η ελαχιστοποίηση της οσμής

Από την άλλη πλευρά, για την καύση της ιλύος απαιτούνται (European Environmental Agency, 1998):

- υψηλές δαπάνες κατασκευής εγκαταστάσεων,
- μεγάλες λειτουργικές δαπάνες (καύσιμα)
- υψηλές απαιτήσεις συντήρησης
- αντιμετώπιση των ενδεχόμενων αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον

Τέλος, διάφορες μοντέρνες τεχνολογίες έχουν εμφανιστεί, δίνοντας έτσι μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της διάθεσης της ιλύος. Άλλες τεχνολογίες που μπορούν να ομαδοποιηθούν στη κατηγορία της θερμικής αξιοποίησης της ιλύος είναι (Fytily and Zabaniotou, 2006):

- Η πυρόλυση η οποία αποτελεί μια θερμική διεργασία απουσία οξυγόνου
- Η αεριοποίηση είναι μια θερμική διαδικασία κατά τη διάρκεια της οποίας ένα καύσιμο υλικό (χωνεμένη ή μη χωνεμένη ιλύς) μετατρέπεται με τον αέρα ή το οξυγόνο σε εύφλεκτο αέριο και αδρανές υπόλειμμα

- Η υγρή οξείδωση η οποία βασίζεται στην αρχή ότι οποιαδήποτε ουσία που μπορεί να καεί, οξειδώνεται παρουσία νερού σε θερμοκρασίες από 120 έως 370°C

4.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ

4.3.1 ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Η διάθεση της ιλύος στο έδαφος αποτελεί μια μέθοδο με την οποία ανακυκλώνονται συστατικά με γεωργική αξία στο έδαφος. Από την κεντρική συλλογή και επεξεργασία των λυμάτων παράγεται μια υπολειμματική ιλύς η οποία χρειάζεται να διαχειριστεί με ασφάλεια και να διατεθεί με έναν όσο το δυνατόν οικονομικό τρόπο. Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ενθαρρύνει την εδαφική εφαρμογή της ιλύος, εφόσον υπάρχει επαρκής επιστημονική παρακολούθηση και οργανωμένη νομική κάλυψη (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Επιτροπή της ΕΕ, η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος θεωρείται ως η πλέον οικολογική επιλογή, με τη προϋπόθεση ότι δεν εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον, καθώς και για την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Αναφορικά με την έκταση της χρησιμοποίησης της ιλύος στην ευρωπαϊκή γεωργία, σε επτά κράτη- μέλη της ΕΕ (Γαλλία, Ισπανία, Δανία, Ιρλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ουγγαρία και περιφέρεια Βαλονίας στο Βέλγιο) αξιοποιείται η παραγόμενη ιλύς από αστικά λύματα στο γεωργικό τομέα σε ποσοστό τουλάχιστον 50%. Τρία άλλα κράτη (Φινλανδία, Σουηδία, Σλοβενία) αξιοποιούν γεωργικά την ιλύ σε ποσοστό μικρότερο του 17%, ενώ η Τσεχία, η Σλοβακία και η περιοχή Φλάνδρας στο Βέλγιο διοχετεύουν ελάχιστη ή μηδενική ποσότητα ιλύος στα γεωργικά τους εδάφη (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος εξαρτάται βασικά από τη ποιοτική κατάσταση στην οποία αυτή βρίσκεται. Σε διεθνή κλίμακα αναφέρονται περιπτώσεις όπου η ιλύς των μονάδων επεξεργασίας εμφανίζεται να είναι πιστοποιημένη ως άριστης ποιότητας. Αυτό σημαίνει πρακτικώς ότι παρουσιάζει: α) σταθερή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά, β) πολύ μικρή επιβάρυνση σε επιβλαβείς ουσίες (Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, οργανικές αλογονωμένες ενώσεις 80-90 % σταθερά κάτω από τις οριακές τιμές που έχουν τεθεί) και γ) χαρακτηρίζεται από αμελητέα περιεκτικότητα σε εντερικά παθογόνα όπως η σαλμονέλα, περιττωματικούς δείκτες όπως περιττωματικά κολλίμορφα βακτήρια και εντερόκοκκους (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι κυριότεροι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα της ιλύος, καθώς και οι διάφοροι περιορισμοί σχετικά με τη γεωργική χρήση της ιλύος.

Βαρέα Μέταλλα

Η σημαντικότερη ίσως παράμετρος για τη χρήση της ιλύος στην γεωργία αποτελεί η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα καθώς αυτά δεν καταστρέφονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και συγκεντρώνονται ως επί το πλείστον στην ιλύ. Τα μέταλλα βρίσκονται στην ιλύ κυρίως σε μορφή αδιάλυτων θειούχων και ανθρακικών αλάτων ή συμπλοκών ιόντων, ή είναι ενσωματωμένα σε μικροοργανισμούς. Ειδικότερα, η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ καθορίζει τις οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην επεξεργασμένη ιλύ που προορίζεται να διατεθεί στο έδαφος, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 16. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων δεν πρέπει να ξεπερνούν τις προβλεπόμενες τιμές, εξ αιτίας της τοξικότητάς τους τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα φυτά.

Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ που πρόκειται να διατεθεί στο έδαφος (σε mg/kg ξηράς ουσίας)

Παράμετροι	Οριακές τιμές (mg/kg ξηράς ουσίας)
Cd	20-40
Cu	1.000-1.750
Ni	300-400
Pb	750-1.200
Zn	2.500-4.000
Hg	16-25
Cr	Δεν έχει καθοριστεί τιμή

Πηγή: Οδηγία 86/278/ΕΟΚ

Ανάλογα με την τοξικότητά τους τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Ανδρεαδάκης, 2001):

α) βαρέα μέταλλα, όπως ο Cu, ο Zn, το Ni και το Cr που είναι τοξικά για τα φυτά, μπορούν να συσσωρευτούν στην φυτική μάζα και να προκαλέσουν σημαντική αναστολή στην ανάπτυξη των φυτών. Η τοξικότητα στα φυτά εμφανίζεται σε

συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μικρότερες από το επίπεδο που δημιουργούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία με αποτέλεσμα να προστατεύεται ικανοποιητικά η τροφική αλυσίδα

β) βαρέα μέταλλα, όπως ο Pb, Cd και Hg τα οποία υπό κανονικές συνθήκες δεν αναστέλλουν την ανάπτυξη των φυτών αλλά μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές οργανικές βλάβες στους ανθρώπους και τα ζώα που καταναλώνουν τα φυτά ή άμεσα τα μέταλλα αυτά. Πιο συγκεκριμένα, ο Pb, το Cr και ο Hg χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή κινητικότητα στο έδαφος και δεν προκαλούν φαινόμενα φυτοτοξικότητας ακόμη και για συγκεντρώσεις στο έδαφος που πλησιάζουν τα 1000 mg/Kg ΞΥ(Ανδρεαδάκης, 2001).

Η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το pH. Τα περισσότερα μέταλλα είναι λιγότερο διαλυτά και συνεπώς λιγότερο διαθέσιμα στα φυτά σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH. Για παράδειγμα αύξηση της τιμής του pH κατά 0,5 μονάδες προκαλεί ελάττωση της προσλαμβανόμενης ποσότητας Cd κατά 20-40%

Σε σχετική έρευνα, τέσσερα διαφορετικά είδη ιλύος (αερόβια, αναερόβια, ανεπεξέργαστη και ιλύς από δεξαμενή σταθεροποίησης) εξετάστηκαν ως προς την καταλληλότητα τους για γεωργική χρήση. Τα επίπεδα συγκέντρωσης των μετάλλων δεν υπερέβησαν τα όρια που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή νομοθεσία, και η σταθεροποίηση της ιλύος έδειξε να επηρεάζει την κατανομή των μετάλλων. Όσον αφορά τα πειράματα φυτοτοξικότητας, χρησιμοποιήθηκαν σπόροι κριθαριού (*Hordeum vulgare L.*) και γρασιδιού (*Lepidium sativum L.*). Δεν παρατηρήθηκε σημαντική φυτοτοξική δράση, παρόλα αυτά παρατηρήθηκε μια μείωση στην ανάπτυξη της ρίζας των δύο φυτών (Fuendes et al., 2004).

Μικροοργανισμοί

Επίσης, οι περιορισμοί για το μικροβιακό φορτίο της ιλύος πρέπει να είναι ιδιαίτερα αυστηροί διότι εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία του καταναλωτή. Η επιβίωση τους είναι μικρότερη το καλοκαίρι από το χειμώνα, σε εδάφη με όξινο pH από τα αλκαλικά εδάφη, σε περιόδους με περιορισμένη ξηρασία από τις υγρές εποχές, στην επιφάνεια του εδάφους από τα βαθύτερα στρώματα και σε εδάφη με

λίγες οργανικές ουσίες από πλούσια εδάφη σε θρεπτικά συστατικά. Ο μηχανισμός απομάκρυνσης των ιόν φαίνεται να είναι κυρίως η προσρόφησή τους από στοιχεία του εδάφους. Ορισμένοι τύποι εδάφους όπως τα πηλώδη εδάφη έχουν μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα από άλλα, όπως τα αμμώδη (Μαυρίδου και Παπαπετροπούλου Μ. 1995). Στην αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΕ τίθενται περιορισμοί ως προς το μικροβιακό φορτίο της ιλύος που προορίζεται για γεωργική αξιοποίηση.

Οργανικές Ενώσεις

Λόγω των ισχυρών υδροφοβικών χαρακτηριστικών των μικροοργανικών τα περισσότερα τα περισσότερα οργανικά συστατικά που περιέχονται στην ιλύ παρουσιάζουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και προσροφούνται από το εδαφικό υλικό. Όπως αναφέρεται σε πολλές μελέτες τα λιγότερο βιοδιασπάσιμα μικροοργανικά όπως χλωριωμένα φυτοφάρμακα, PCBs και PAHs απορροφούνται πλήρως από τα χουμικά οξέα του εδάφους. Για τους λόγους αυτούς φαίνεται ότι δεν πραγματοποιείται σοβαρή πρόσληψη από τα χερσαία φυτά αλλά ανοικτό παραμένει το θέμα των άλλων δρόμων κυκλοφορίας και τοξικής επίδρασης. Έχει επίσης αναφερθεί ότι τα PCBs όπως και άλλες λιπόφιλες ουσίες προσλαμβάνονται από άλγη και ασπόνδυλα με δυσμενείς συνέπειες στην ανάπτυξή τους. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) δεν συμπεριέλαβε κανένα οργανικό χημικό στους Κανονισμούς γεωργικής χρήσης της ιλύος καθώς όλα τα οργανικά χημικά που εξετάστηκαν πληρούν τουλάχιστον έναν από τους κάτωθι όρους (Ανδρεαδάκης, 2001):

- το οργανικό χημικό δεν εμφανίζεται συχνά σε δείγματα ιλύος (συχνότητα εμφάνισης < 5%)
- η παρασκευή και χρήση του χημικού έχει απαγορευθεί
- η συγκέντρωση του οργανικού χημικού στην ιλύ στο 99% των δειγμάτων που εξετάστηκαν ήταν αρκετά χαμηλή ώστε η γεωργική χρήση της ιλύος να μην αποτελεί κίνδυνο για την δημόσια υγεία

Μόνο ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν θεσπίσει κάποια όρια συγκεντρώσεων για γεωργική χρήση της ιλύος που όμως δεν συμφωνούν μεταξύ τους ως προς το είδος των χημικών και τα όρια των συγκεντρώσεων. Για παράδειγμα οι Γερμανικοί Κανονισμοί είχαν ορίσει για βοσκότοπους το όριο των 0,2 mg/kg ΞΥ για

κάθε μια ένωση PCB ενώ αντίστοιχα οι σουηδικοί καθορίζουν το όριο για το σύνολο των PCBs να μην ξεπερνά τα 0,4 mg/kg ΞΥ. Επίσης κάποιες γενικές οδηγίες περιέχονται και στους ολλανδικούς κανονισμούς για τον διαχωρισμό των εδαφών σε τρεις κατηγορίες: καθαρά εδάφη που χρησιμοποιούνται ως βάση αναφοράς, χρήζοντα παρακολούθησης και σε αυτά που απαιτείται να παρθούν μέτρα καθαρισμού.

Πίνακας 17: Οδηγίες για τον προσδιορισμό της εδαφικής ρύπανσης από οργανικά (mg/kg ΞΥ).

Οργανικά	Κατηγορία εδάφους		
	Μη ρυπασμένο	Χρήζον παρακολούθησης	Χρήζον καθαρισμού
PAHs	1	20	200
Ολικά			
HC	0,05	7	70
PCBs	0,05	1	10
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες			
Βενζόλιο	0,01	0,5	5
Φαινόλες	0,02	1	10
Αρωματικοί - ολικοί	0,1	7	70
Φυτοφάρμακα - ολικά	0,1	2	20
Άλλες οργανικές ενώσεις			
Κυκλοεξάνιο	0,1	6	60
Βενζίνη	20	100	800
Pyridine	0,1	4	40

Πηγή: Ανδρεαδάκης, 2001

Το νομοθετικό σύστημα στην Ευρώπη για τη γεωργική χρήση της ιλύος έχει βασιστεί πάνω σε έρευνες που έχουν καθορίσει τα όρια συγκεντρώσεως πιθανόν τοξικών στοιχείων (Potentially Toxic Elements-PTEs) στα εδάφη για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας και την ανάπτυξη των καλλιεργειών αλλά και σε έρευνες για πρακτικές διαχείρισης και επεξεργασίας της ιλύος έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν

οι κίνδυνοι μόλυνσης από τους παθογόνους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στην ύλ. Παρόλα όμως τα νομοθετήματα κάποιες ανησυχίες παραμένουν για τη πρακτική της εφαρμογής της ύλως σε γεωργική γη. Συγκεκριμένα, τα όρια για τα πιθανώς τοξικά στοιχεία έχουν δεχθεί κριτική επειδή δε φαίνεται να υπολογίζουν πιθανές επιδράσεις για τη μακροπρόθεσμη ευφορία των εδαφών. Επιπλέον, οι επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία από τη ρύπανση της ύλως με οργανικούς ρυπαντές καθιστούν την αποδοχή της γεωργικής ανακύκλωσης από το κοινό εξαιρετικά δύσκολη (Smith, 1996).

Γενικά, για το σκοπό της γεωργικής χρησιμοποίησης της ύλως των αστικών λυμάτων πρέπει να συγκεντρώνονται οι παρακάτω προϋποθέσεις (Αγγελάκης κ.ά., 2005):

- Η γεωργική χρησιμοποίηση της ύλως πρέπει να γίνεται με ορθολογικά κριτήρια (ώστε να μην επηρεάζεται δυσμενώς η ποιότητα των εδαφών και των παραγόμενων αγροτικών προϊόντων, καθώς επίσης το ζωικό κεφάλαιο και οι άνθρωποι).
- Πρέπει να τηρούνται τα απαραίτητα χρονικά περιθώρια μεταξύ της εδαφικής εφαρμογής της ύλως και της βόσκησης των λειμώνων ή της συγκομιδής της φυτικής μάζας των κτηνοτροφικών καλλιεργειών στα οποία εφαρμόστηκε η ύλως.
- Πριν από την εδαφική εφαρμογή της ύλως, αυτή πρέπει να υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία σταθεροποίησης.
- Έλεγχο των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ύλως και των εδαφών στα οποία αυτές εφαρμόζονται. Για το σκοπό αυτό πρέπει να πραγματοποιούνται λεπτομερείς αναλύσεις όσον αφορά την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, τόσο της ύλως, όσο και των εδαφών στα οποία αυτές θα εφαρμοστούν.

Μια ακόμη προϋπόθεση που θα πρέπει να εξασφαλίζεται πριν τη γεωργική εφαρμογή της ύλως είναι η προστασία επιφανειακών και υπόγειων νερών. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ελεγχόμενη χρήση της ύλως στη γεωργία στη πραγματικότητα συμβάλλει στη προστασία των επιφανειακών νερών διότι η οργανική ύλη που περιέχεται στην ύλως ενισχύει τη δημιουργία δεσμών μεταξύ των κόκκων του εδάφους και βελτιώνει τη δομή του. Έτσι όσο καλύτερη είναι η δομή του εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του απέναντι στην ανεπιθύμητη διάβρωση. Επιπλέον, η προσθήκη ύλως

αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να κατακρατεί το νερό. Σε ότι αφορά τη προστασία των υπόγειων υδάτων, αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση ιλύος στη γεωργική γη εγκυμονεί κινδύνους ρύπανσης αυτών από νιτρικά (Smith, 1996).

Βασικό μειονέκτημα της γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος είναι ότι για την εφαρμογή της στο έδαφος καταναλίσκονται καύσιμα ενώ παράλληλα απαιτούνται χώροι αποθήκευσης της ιλύος. Επίσης μία βασική ενόχληση που μπορεί να προκληθεί κατά την εφαρμογή ιλύος στη γεωργική γη, αφορά τις δυσσομίες. Αιτία των δυσσομιών είναι η βιολογική δράση στη μάζα της ιλύος. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι με την απαιτούμενη επεξεργασία για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, αδρανοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών, με αποτέλεσμα στη περίπτωση προηγμένης επεξεργασίας να είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστεί ανάπτυξη δυσσομιών. Απαραίτητη επομένως προϋπόθεση για την επιτυχία της γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος συνιστά και η εκτέλεση από τις υπεύθυνες υπηρεσίες και εξειδικευμένα, αξιόπιστα εργαστήρια, συστηματικών ελέγχων της ποιότητας των ιλύων σε όλες τις απαραίτητες παραμέτρους (κυρίως βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, παθογόνα), καθώς επίσης και η εισαγωγή συστημάτων πιστοποίησης της διαδικασίας (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Όσον αφορά την ελληνική πραγματικότητα, η εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος για εμπλουτισμό του με θρεπτικά συστατικά έχει ήδη ενταχθεί στον ελληνικό σχεδιασμό της διαχείρισης αποβλήτων (ΚΥΑ 113944/97) και ενδείκνυται να υλοποιείται με κομποστοποίηση σταθεροποιημένης, αφυδατωμένης ιλύος με αστικά απόβλητα. Σε περιπτώσεις που η επεξεργασμένη ιλύς δεν πληροί τις ισχύουσες προϋποθέσεις ποιότητας, εξετάζονται οι υπόλοιπες πρακτικές δηλαδή η καύση και η υγειονομική ταφή της ιλύος (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Τόσο από την ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ 50910/2727/2003), όσο και από τα ισχύοντα μέτρα σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, επιβάλλεται οπωσδήποτε η πλήρης επεξεργασία σταθεροποίησης της ιλύος πριν από την εδαφική χρησιμοποίησή της. Η ιλύς που αξιοποιείται στη γεωργία, ως μερικό υποκατάστατο λιπασμάτων ή ως εδαφοβελτιωτικό υλικό, πρέπει να διατίθεται και να εφαρμόζεται σε πλήρως σταθεροποιημένη μορφή, απαλλαγμένη από παθογόνους μικροοργανισμούς και άλλους παράγοντες (βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις κ.α). Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος των αστικών λυμάτων είναι ασύμβατη με την

καλλιέργεια βιολογικών προϊόντων. Με το Κανονισμό (υπ' αριθ. 2092/91) «Περί του βιολογικού τρόπου παραγωγής γεωργικών προϊόντων και των σχετικών ενδείξεων στα γεωργικά προϊόντα και στα είδη διατροφής» η ιλύς δεν συμπεριλαμβάνεται στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιούνται για τη βιολογική παραγωγή (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

Για όλες τις διαδικασίες γεωργικής χρησιμοποίησης της ιλύος των αστικών λυμάτων στην Ελλάδα, ενδείκνυται να ακολουθείται τόσο το ισχύον νομικό πλαίσιο και οι γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων (Εθνικός Σχεδιασμός), όσο και το Εθνικό Πρόγραμμα Μείωσης της Ρύπανσης Υδάτινων Αποδεκτών. Ο ορθολογικός σχεδιασμός της γεωργικής χρησιμοποίησης της ιλύος σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας και τα συμφέροντα της ελληνικής γεωργίας, απαιτεί την ανάπτυξη εθνικής ολιστικής στρατηγικής. Υπό ελληνικές συνθήκες, η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα στο περιβάλλον, όταν ακολουθούνται ασφαλείς κανόνες στην παραγωγή και τη χρήση της. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία της γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος αποτελούν οι συστηματικοί έλεγχοι από τις υπεύθυνες υπηρεσίες μέσω αξιόπιστων εργαστηρίων για όλες τις απαραίτητες παραμέτρους (κυρίως βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, παθογόνα), καθώς επίσης και η εισαγωγή συστημάτων πιστοποίησης της υπ' όψη διαδικασίας (Κουλουμπής κ.ά., 2007).

4.3.2 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η διάθεση της ιλύος για την αποκατάσταση εδαφών αποσκοπεί στην προστασία των εκτάσεων αυτών από την διάβρωση και στον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά και οργανική ύλη. Όταν ο σκοπός της διάθεσης είναι η αύξηση της ποσότητας του εδάφους στην περιοχή, η ιλύς είτε μπορεί να εφαρμοσθεί απ' ευθείας πριν την μίξη με το υφιστάμενο έδαφος ή να γίνει μίξη με το χώμα πριν την εφαρμογή της. Η ποσότητα της ιλύος που συνήθως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις αυτές είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν στην περίπτωση της γεωργικής χρήσης (Κάρτσωνας, 2005).

4.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΑΣΟΠΟΝΙΑ

Η εφαρμογή της ιλύος σε δασικές εκτάσεις δεν έχει διερευνηθεί στον ίδιο βαθμό με την επαναχρησιμοποίησή της στη γεωργία και δεν αποτελεί ακόμη συνηθισμένη πρακτική, ωστόσο εμφανίζεται ιδιαίτερα ελκυστική καθώς τα προβλήματα υγιεινής και οσμών δεν είναι περιοριστικά. Παρόλα αυτά, γενικά οι εκπομπές στο έδαφος, τον αέρα και το νερό είναι παρόμοιες με αυτές που αφορούν την εφαρμογή της ιλύος στη γεωργία. Έτσι παρατηρείται συσσώρευση βαρέων μετάλλων στο ανώτερο στρώμα του εδάφους, το γεγονός όμως ότι τα δασικά εδάφη είναι πολλές φορές όξινα έχει σαν αποτέλεσμα την κινητικότητα των μετάλλων. Επίσης έχουν αναφερθεί και έμμεσες επιπτώσεις στην οικολογία της άγριας ζωής, αφού με την εφαρμογή της ιλύος και τη βελτίωση της απόδοσης αυξάνεται η διαθεσιμότητα τροφής για έναν αριθμό ειδών ζώων με αποτέλεσμα την καταστροφή των αναπτυσσόμενων φυτών και τον τραυματισμό των ήδη αναπτυγμένων. Τέλος έχει παρατηρηθεί αύξηση παρασίτων και παθογενών μανιταριών. Οι υγειονομικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της ιλύος σε δασικές εκτάσεις δεν έχουν επαρκώς τεκμηριωθεί ώστε να προκύψει κάποιο συμπέρασμα. Πάντως η ανάλυση των κινδύνων σε κάθε περίπτωση πρέπει να κάνει διαχωρισμό των δασικών εκτάσεων ανάλογα με τη χρήση τους. Γενικά δάση ανοικτά στο κοινό παρουσιάζουν υψηλότερο κίνδυνο από αυτά που χρησιμοποιούνται για δασοπονία (Αγγελάκης κ.ά., 2005).

Β' ΜΕΡΟΣ

5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

5.1 ΥΛΙΚΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λήφθηκαν δείγματα από την επεξεργασμένη ιλύ δύο μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας, της Λάρισας και του Τυρνάβου με σκοπό την διερεύνηση της μελέτη των τοξικών επιδράσεων της ιλύος κυρίως όσον αφορά τη γεωργική χρήση της. Πιο συγκεκριμένα οι δειγματοληψία από τη μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας πραγματοποιήθηκε στις 22/9/2010, ενώ από τη μονάδα επεξεργασίας του Τυρνάβου στις 24/9/2010. Όσον αφορά την υγρασία των δειγμάτων, για τον Τύρναβο ήταν της τάξης του 65%, ενώ για τη Λάρισα της τάξης του 80%.

Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε ήπια ξήρανση σε φούρνο σε θερμοκρασία 60°C για 3 ημέρες, ώστε να είναι κατάλληλα για τη διεξαγωγή του πειράματος φυτοτοξικότητας. Επίσης πραγματοποιήθηκε δοκιμή έκπλυσης των δειγμάτων, ώστε να διεξαχθεί το πείραμα της ακινητοποίησης της *Daphnia magna*.

Στη συνέχεια θα γίνει μία σύντομη περιγραφή των μονάδων επεξεργασίας εκ των οποίων λήφθηκαν τα δείγματα ιλύος.

Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Λάρισας

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Λάρισας βρίσκεται βόρεια της πόλης της Λάρισας στην περιοχή Νέα Σμύρνη και λειτουργεί από το 1989. Το έργο αυτό στην πρώτη φάση, δυναμικότητας 115.000 ισοδύναμων κατοίκων είχε σαν στόχο την εξυπηρέτηση των αναγκών της πόλης μέχρι το 2005. (Γελατζής, 2008).

Από το 2006 άρχισε να λειτουργεί η δεύτερη φάση του έργου με σκοπό την εξυπηρέτηση 210.000 ισοδύναμων κατοίκων με χρονικό ορίζοντα το 2030.

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι δευτεροβάθμια με το σύστημα ενεργού ιλύος με βιολογική απομάκρυνση αζώτου με νιτροποίηση και απονιτροποίηση, απολύμανση με χλωρίωση και αναερόβια σταθεροποίηση της ιλύος (Αργυρούλη, 2005).

Ο χώρος των εγκαταστάσεων είναι συνολικά 115 στρέμματα και περιβάλλεται από αντιπλημμυρικό ανάχωμα (Γελατζής, 2008).

Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Τυρνάβου

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Τυρνάβου βρίσκεται σε αγροτική περιοχή 700 m ανατολικά του Τυρνάβου και πλησίον του ποταμού Τιταρήσιου, ο οποίος είναι και ο αποδέκτης των επεξεργασμένων υδάτων. Άρχισε να λειτουργεί το 1995 και έχει σχεδιαστεί για την εξυπηρέτηση 18.000 ισοδύναμων κατοίκων (Αργυρούλη, 2005).

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι δευτεροβάθμια με το σύστημα της ενεργού ύλης με παρατεταμένο αερισμό και παράλληλη νιτροποίηση-απονιτροποίηση για την απομάκρυνση του αζώτου, μηχανική αφυδάτωση της ύλης, διήθηση σε φίλτρο άμμου και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). (Αργυρούλη, 2005)

5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ

5.2.1 *ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ*

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε αγωγιμόμετρο της εταιρείας Hanna Instruments, Αμερικής (HI 8733). Βυθίζουμε τον αισθητήρα στο δείγμα υγρού έκπλυσης του οποίου την αγωγιμότητα θέλουμε να μετρήσουμε και το αναδεύουμε ελαφρά ώστε το δείγμα να είναι όσο το δυνατόν ομογενές, φροντίζοντας να μην υπάρχουν φυσαλίδες αέρα. Στην συνέχεια, επιλέγουμε την κλίμακα μέτρησης και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της οθόνης. Σημαντικές παράμετροι για τη σωστή μέτρηση της αγωγιμότητας είναι η θερμοκρασία του δείγματος (περίπου 25°C) και η σωστή ρύθμιση και βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση ειδικών διαλυμάτων βαθμονόμησης (πρότυπα διαλύματα αγωγιμότητας 80 και 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

5.2.2 *ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ pH*

Για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιείται το πεχάμετρο. Για τη σωστή μέτρηση απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σωστή ρύθμιση του οργάνου με τη βοήθεια ειδικών διαλυμάτων βαθμονόμησης (συνήθως με pH 4, 7 και 10). Στη συνέχεια αφού ξεπλύνουμε τα ηλεκτρόδια σε απιονισμένο νερό τα βυθίζουμε στο δείγμα υγρού έκπλυσης και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της οθόνης.

5.2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ COD (CHEMICAL OXYGEN DEMAND)

Η μέτρηση του COD μας δίνει την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση σχεδόν όλων των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (Κούγκολος, 2005).

Η μέτρηση του COD γίνεται με τη βοήθεια της φασματοφωτομετρικής μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα παίρνουμε μια κυβέτα μέτρησης COD για κάθε δείγμα, η οποία περιέχει σταθερή ποσότητα ισχυρού οξειδωτικού μέσου (διχρωμικό κάλιο) και προσθέτουμε 2 mL δείγματος υγρού έκπλυσης και κατόπιν, αφού τοποθετήσουμε το πώμα στο σωλήνα, ανακινούμε το μείγμα. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για κάθε δείγμα υγρού έκπλυσης. Επίσης σε μία κυβέτα με οξειδωτικό μέσο βάζουμε 2 mL απιονισμένο νερό (μάρτυρας). Τοποθετούμε τις κυβέτες μέτρησης και την κυβέτα μάρτυρα σε θερμοαντιδραστήρα (AL 32, Aqualytic) στους 148° C για 2 ώρες.

Στη συνέχεια, μετά την πάροδο των 2 ωρών και αφού τα δείγματα έχουν κρυώσει, τοποθετούμε στο φωτόμετρο πρώτα την κυβέτα με το απιονισμένο νερό και μηδενίζουμε πατώντας το πλήκτρο με την ένδειξη «ZERO» μέχρι να δείξει στην οθόνη 0 mg/L. Τέλος, τοποθετούμε στο φωτόμετρο τις υπόλοιπες κυβέτες, και κάθε φορά πατώντας το πλήκτρο «MEDIUM RANGE» καταγράφουμε την ένδειξη της οθόνης για κάθε δείγμα υγρού έκπλυσης.

5.2.4 ΠΕΙΡΑΜΑ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στη συγκεκριμένη εργασία διεξήχθη το πείραμα φυτοτοξικότητας Phytotoxkit microbiotest για τη μελέτη των δειγμάτων ιλύος που λήφθηκαν από τις ΜΕΑΥΑ της Λάρισας και του Τυρνάβου. Γενικά η μέτρηση φυτοτοξικότητας με το Phytotoxkit microbiotest είναι μια μέθοδος αρκετά εύχρηστη, καθώς:

- Η προετοιμασία είναι απλή και γρήγορη.
- Οι διάφανες πλακέτες που χρησιμοποιούνται είναι μικρές σε μέγεθος, συνεπώς απαιτούν λίγο χώρο
- Η διαφάνεια των πλακετών επιτρέπουν την άμεση παρατήρηση της ανάπτυξης των φυτών
- Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται για την απεικόνιση της ανάπτυξης των φυτών επιτρέπουν στον ερευνητή να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις όποτε αυτός επιθυμεί
- Μπορούν να διεξαχθούν πολλά τεστ ταυτόχρονα

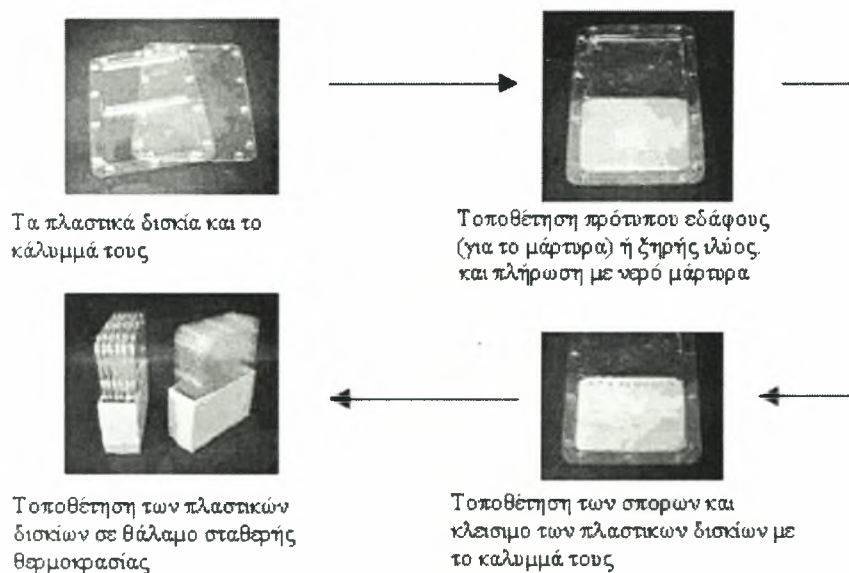
Το συγκεκριμένο πείραμα φυτοτοξικότητας γίνεται με τη χρήση του μονοκοτυλήδονου φυτού *Sorghum saccharatum* και των δικοτυλήδων φυτών *Lepidium sativum* και *Sinapis alba*, όπως περιγράφεται στις οδηγίες του σετ μέτρησης φυτοτοξικότητας Phytotoxkit (Microbiotests, 2004). Η φυτοτοξικότητα των δύο δειγμάτων ιλύος μελετάται στα τρία είδη φυτών, τόσο χωρίς να προηγηθεί ανάμειξη των δειγμάτων ξηρής ιλύος με έδαφος (OECD, 1984), όσο και μετά από ανάμειξη των δειγμάτων ξηρής ιλύος με έδαφος (OECD, 1984) σε περιεκτικότητα ιλύος 5, 20 και 50%.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα πειράματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Σπόροι *Sorghum saccharatum*.
- Σπόροι *Lepidium sativum*.
- Σπόροι *Sinapis alba*.
- Έδαφος (OECD, 1984), σύστασης: 85% άμμος, 10% άργιλος και 5% τύρφη και προσθήκη CaCO_3 σε αναλογία 2 g/kg εδάφους, για τη ρύθμιση του pH (Microbiotests Inc.).
- Πλαστικά δισκία με καπάκι διαστάσεων 18x12x0,8 cm με δύο ισομεγέθη διαμερίσματα για την τοποθέτηση του εδάφους και την ανάπτυξη του βλαστού των φυτών.

Στα πλαστικά δισκία τοποθετούνται περίπου 100 g δείγματος εδάφους το οποίο διαβρέχεται με 30 mL απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια, τα κορεσμένα σε νερό δείγματα εδάφους σκεπάζονται με μαύρο χαρτί και πάνω στην επιφάνεια του χαρτιού τοποθετούνται σε απόσταση περίπου 1 cm κάτω από τη διαχωριστική γραμμή του διαμερίσματος του εδάφους, 10 σπόροι σε ίσες αποστάσεις. Μετά την τοποθέτηση των σπόρων, τα δισκία σκεπάζονται με το πλαστικό κάλυμμα και τοποθετούνται σε οριζόντια θέση σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 25°C, απουσία φωτισμού. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται στα δύο δείγματα ιλύος για τα δύο είδη φυτών (*S. saccharatum* και *L. sativum*), ενώ χρησιμοποιείται πρότυπο έδαφος κατά OECD ως μάρτυρας για το οποίο εφαρμόζονται δύο επαναλήψεις για κάθε ένα από τα δύο είδη φυτών. Τα δισκία με τα δείγματα εδάφους και τον μάρτυρα παραμένουν στον θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας για τρεις ημέρες και στη συνέχεια λαμβάνεται ψηφιακή φωτογραφία, από σταθερή απόσταση για όλα τα δισκία. Η διαδικασία περιγράφεται διαγραμματικά στην Εικόνα 1.

Εικόνα 1: Διαδικασία προετοιμασίας του πειράματος Phytotoxkit Microbiotest



Η μέτρηση του μήκους των ριζών και του βλαστού που αναπτύσσεται στα δείγματα και στον μάρτυρα γίνεται με τη χρήση του λογισμικού επεξεργασίας εικόνας Image Tool

3.0 (UTHSCSA, Αμερικής). Το ποσοστό της αναστολής της ανάπτυξης του βλαστού ή της ρίζας των φυτών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$[(A-B) \times 100]/A$$

Όπου:

A: η μέση ανάπτυξη του βλαστού ή της ρίζας στο έδαφος μάρτυρα, pixel ή cm.

B: η μέση ανάπτυξη του βλαστού ή της ρίζας στο δείγμα εδάφους, pixel ή cm

Σημαντικός παράγοντας για τη σωστή διεξαγωγή του πειράματος είναι να έχει επιτευχθεί υδατοκορεσμός τόσο στο πρότυπο έδαφος που θα αποτελεί τον μάρτυρα, όσο και στα δείγματα ξηρής ύλης.

5.2.5 ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΤΑΔΙΟΥ EN 12457-2

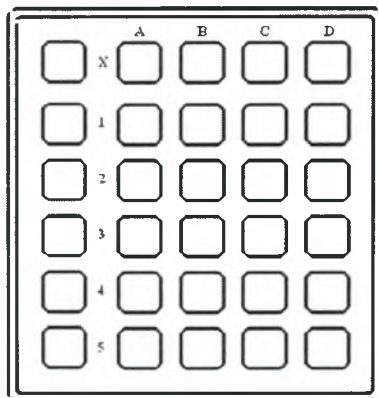
Σύμφωνα με τη μέθοδο έκπλυσης EN 12457-2 (CEN, 2002), 20 g αφυδατωμένης ύλης και 200 mL απιονισμένου νερού (επιτυγχανόμενη αναλογία υγρού/στερεού, L/S= 10 L/kg) προστίθενται σε φιάλες πολυπροπυλενίου του 250 mL και ακολουθεί ανάδευση για 24 ώρες σε μαγνητικό αναδευτήρα. Η επιλογή της ποσότητας στερεού δείγματος και νερού γίνεται με σκοπό να υπάρχει διαθέσιμος ελεύθερος χώρος στη φιάλη κατά την ανάμιξή τους. Στη συνέχεια το μίγμα υγρού/στερεού διηθείται με ηθμό 0,45 μm και αμέσως μετά καταγράφεται το pH και η αγωγιμότητα του διηθήματος (υγρό έκπλυσης).

5.2.6 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ *DAPHNIA MAGNA*

Όσον αφορά το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna*, χρησιμοποιούνται αυγά σε απενεργοποιημένη μορφή (ephippia) της *Daphnia magna*. Η *Daphnia magna* είναι καρκινοειδές, είδος ζωοπλαγκτού, πολυκύτταρος οργανισμός και για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιούμε μόνο νεογνά (< 24 h). Τα εφίπια της *Daphnia magna* τοποθετούνται, αφού πρώτα έχουν ξεπλυθεί με καθαρό νερό (νερό μάρτυρα) και με τη βοήθεια ενός μικροκοσκίνου ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος του αποθηκευτικού μέσου, σε δισκίο που περιέχει 50 mL πρότυπου μέσου καλλιέργειας και υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας (20°C–22°C) και φωτισμού (6000 lux) για 3 ημέρες (ISO, 1982). Στην συνέχεια, αφού έχουν εκκολαφθεί, τα νεογνά μεταφέρονται

με τη βοήθεια ενός μικροσιφωνίου σε ειδικά πλαστικά δισκία με κυψελίδες όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Κάθε δισκίο αποτελείται από 6 σειρές των 5 κυψελίδων. Σε κάθε σειρά η πρώτη κυψελίδα από αριστερά χρησιμοποιείται ως «κυψελίδα μεταφοράς», ώστε να αποφευχθεί η αραιώση των δειγμάτων με το πρότυπο μέσο καλλιέργειας κατά τη μεταφορά των νεογνών. Στη πρώτη σειρά κυψελίδων (σειρά «X»), η κάθε κυψελίδα γεμίζεται με 10 mL πρότυπου μέσου καλλιέργειας και θα αποτελεί το δείγμα ελέγχου ή «μάρτυρα» του πειράματος. Οι υπόλοιπες σειρές κυψελίδων γεμίζονται αντίστοιχα με 10 mL υγρού έκπλυσης ανά κυψελίδα, από κάθε δείγμα. Έπειτα αφού έχουν μεταφερθεί τα νεογνά στις «κυψελίδες μεταφοράς», τοποθετούνται σε κάθε μια κυψελίδα 5 νεογνά, με ιδιαίτερη προσοχή, να μην «εγκλωβιστούν» στην επιφάνεια του υγρού λόγω φαινομένων επιφανειακής τάσης, γεγονός που θα επηρεάσει το αποτέλεσμα του πειράματος, καθώς τα επιπλέοντα νεογνά συνήθως πεθαίνουν/ακινητοποιούνται. Στην συνέχεια, αφού σκεπασθεί η πλακέτα με πλαστική μεμβράνη (parafilm), τοποθετείται στο θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (AL 160, Aqualytic) στους 20°C, απουσία φωτός για 24 ώρες (ISO, 1982).

Εικόνα 2: Τα ειδικά πλαστικά δισκία με τις κυψελίδες



Πηγή: ISO, 1982

Τέλος αφού περάσουν 24 ώρες, μπορεί να υπολογιστεί η τοξικότητα των λυμάτων, βάσει της θνησιμότητας/ακινητοποίησης των νεογνών που εκτέθηκαν στα δείγματα υγρού έκπλυσης συγκρινόμενη με αυτή του «μάρτυρα». Το πείραμα θεωρείται έγκυρο εάν στον μάρτυρα δεν παρατηρούνται περισσότεροι από δύο ακινητοποιημένοι οργανισμοί (ακινητοποίηση $\leq 10\%$). Η παρατήρηση των οργανισμών γίνεται με γυμνό οφθαλμό, καθώς το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από 1 mm. Ένας οργανισμός

θεωρείται ακινητοποιημένος όταν για χρονικό διάστημα περίπου 15 s δεν δείχνει καμία ένδειξη κινητικότητας (ISO, 1982).

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ pH, ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ COD

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέτρησης της αγωγιμότητας, του pH και του COD των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος που λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας Λάρισας και Τυρνάβου. Παρατηρείται ότι το υγρό έκπλυσης και των δύο δειγμάτων είχαν ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα (pH 9,3 για το δείγμα της Λάρισας και 8,5 για το δείγμα του Τυρνάβου). Την υψηλότερη αγωγιμότητα παρουσίασε το υγρό έκπλυσης της ιλύος του Τυρνάβου (3,9 mS/cm) ενώ η αγωγιμότητα του υγρού έκπλυσης της ιλύος της Λάρισας ήταν αρκετά χαμηλότερη, ίση με 0,69 mS/cm. Όσον αφορά το COD, παρατηρείται ότι το υγρό έκπλυσης του Τυρνάβου παρουσίασε σχετικά υψηλή τιμή (1.720 mg/L) σε σχέση με το υγρό έκπλυσης της Λάρισας (359 mg/L). Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι το ποσοστό των συστατικών της ιλύος από την ΜΕΑΥΑ του Τυρνάβου που διαρρέουν από τη στερεή στην υγρή φάση είναι αρκετά υψηλότερο από το ποσοστό της Λάρισας.

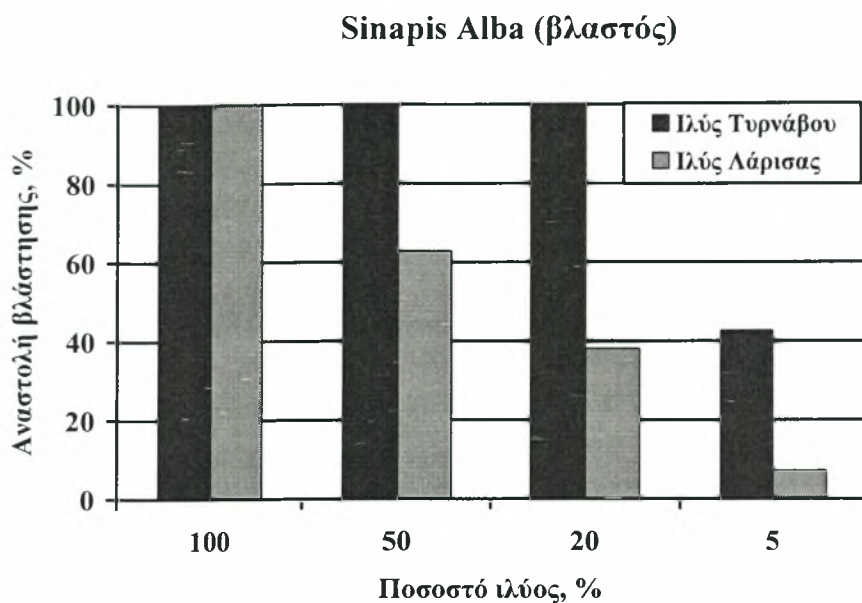
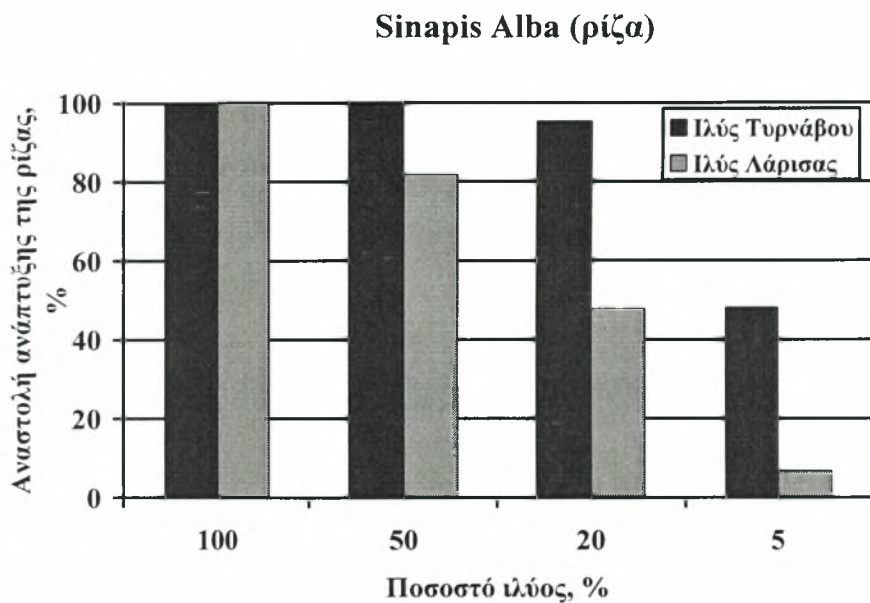
Πίνακας 18: Αποτελέσματα μέτρησης αγωγιμότητας, pH και COD των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος από τις μονάδες επεξεργασίας Λάρισας και Τυρνάβου.

Προέλευση Ιλύος	pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	COD (mg/L)
Λάρισα	9,3	0,69	359
Τύρναβος	8,5	3,9	1.720

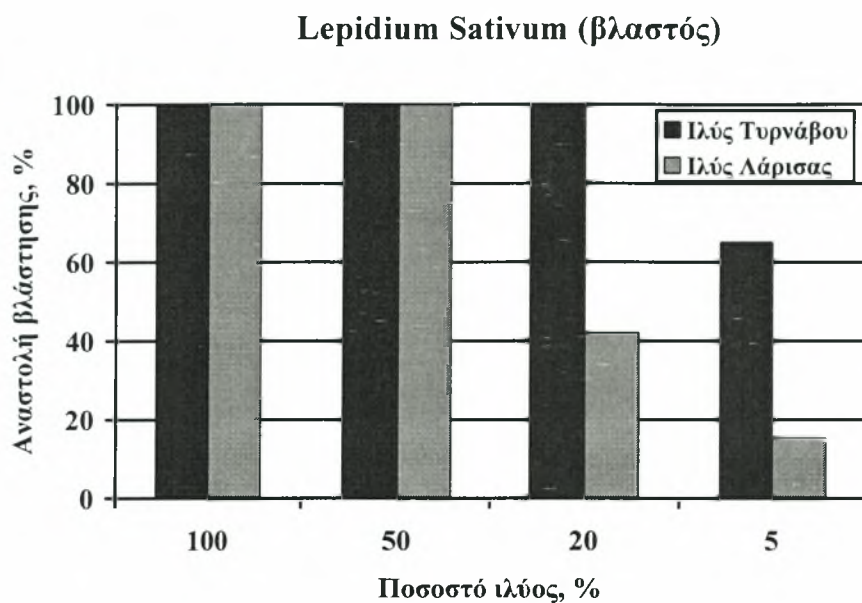
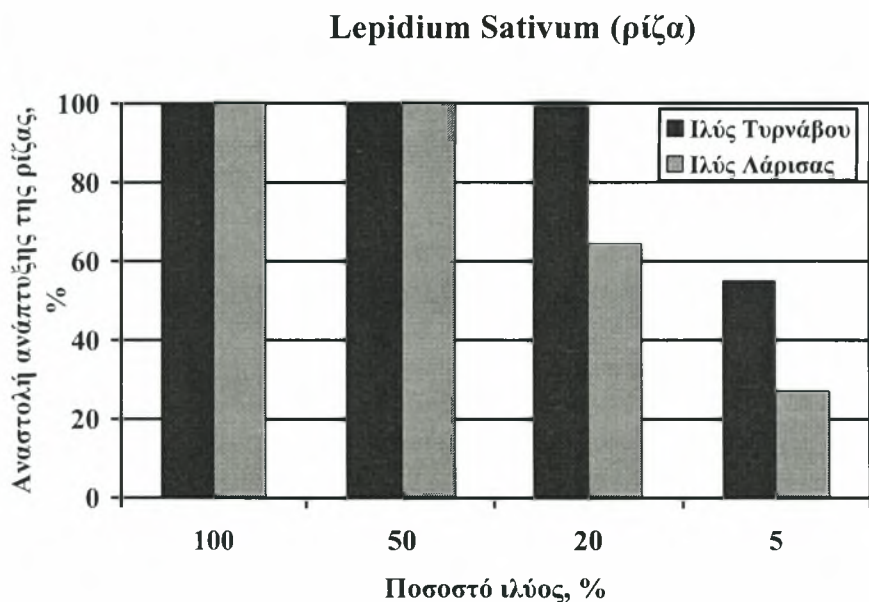
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Για το πείραμα φυτοτοξικότητας τα δείγματα ιλύος που εξετάστηκαν, υποβλήθηκαν σε ήπια ξήρανση σε φούρνο σε θερμοκρασία 60°C για 3 ημέρες. Στη συνέχεια μελετήθηκε η φυτοτοξικότητα της ιλύος και των μειγμάτων ιλύος πρότυπου εδάφους. Τα μείγματα ιλύος εδάφους που μελετήθηκαν είχαν περιεκτικότητα σε ιλύ 50%, 20% και 5%.

Στα Διαγράμματα 2 και 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά αναστολής της βλάστησης και της ανάπτυξης της ρίζας του φυτού *Sinapis alba* για τις διάφορες αναλογίες ιλύος/εδάφους που μελετήθηκαν. Το συγκεκριμένο φυτό δείχνει να είναι πιο ευαίσθητο στο δείγμα ιλύος του Τυρνάβου. Παρατηρείται πλήρης αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του φυτού, τόσο για το δείγμα ιλύος από την ΜΕΑΥΑ του Τυρνάβου, όσο και για δείγμα ιλύος από την ΜΕΑΥΑ της Λάρισας, όταν αυτά δεν αναμείχθηκαν με πρότυπο έδαφος. Για το δείγμα ιλύος του Τυρνάβου ειδικότερα, ακόμα και με περιεκτικότητα ιλύος 50%, η αναστολή ανάπτυξης βλαστού και ρίζας ήταν 100%. Ακόμα και σε περιεκτικότητα ιλύος 20% ο βλαστός παρουσίασε πλήρη αναστολή ανάπτυξης, ενώ η ρίζα παρουσίασε αναστολή ανάπτυξης 95.3%. Η φυτοτοξική δράση ήταν σχετικά χαμηλή μόνο σε ποσοστό ιλύος 5% και μόνο για το δείγμα ιλύος της Λάρισας (7,2% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και 6,2% αναστολή ανάπτυξης για τη ρίζα). Για την ίδια περιεκτικότητα ιλύος, το δείγμα του Τυρνάβου έδωσε 42,7% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και 48% αναστολή ανάπτυξης της ρίζας.

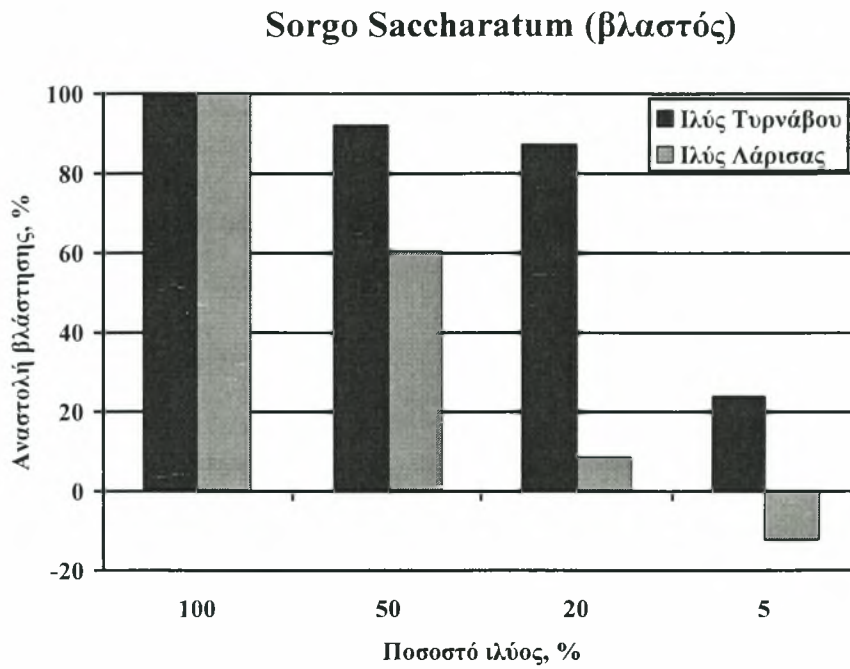
Διάγραμμα 2: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού *S. alba*Διάγραμμα 3: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού *S. alba*

Στα Διαγράμματα 4 και 5 παρουσιάζονται τα ποσοστά αναστολής της βλάστησης και της ανάπτυξης της ρίζας του φυτού *Lepidium Sativum* για τα διάφορες αναλογίες υλός/εδάφους. Το συγκεκριμένο φυτό δείχνει να είναι επίσης πιο ευαίσθητο στο δείγμα υλός του Τυρνάβου. Παρατηρείται πλήρης αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του φυτού, τόσο για το δείγμα υλός από την ΜΕΑΥΑ του Τυρνάβου, όσο και για δείγμα υλός από την ΜΕΑΥΑ της Λάρισας, όταν αυτά δεν αναμίχθηκαν με πρότυπο έδαφος. Ακόμα και σε περιεκτικότητα υλός 50%, η αναστολή ανάπτυξης βλαστού και ρίζας ήταν 100% και για τα δύο δείγματα. Σε περιεκτικότητα υλός 20% ο βλαστός παρουσίασε πλήρη αναστολή ανάπτυξης για το δείγμα υλός του Τυρνάβου, ενώ η ρίζα παρουσίασε αναστολή ανάπτυξης 98,9%. Για την ίδια περιεκτικότητα υλός το δείγμα της Λάρισας έδωσε 42,1% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού, και 64,3% αναστολή ανάπτυξης της ρίζας. Η φυτοτοξική δράση ήταν σχετικά χαμηλότερη μόνο σε περιεκτικότητα υλός 5% και μόνο για το δείγμα υλός της Λάρισας (15,3% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και 27,1% αναστολή ανάπτυξης για τη ρίζα). Για την ίδια περιεκτικότητα υλός, το δείγμα του Τυρνάβου έδωσε 65% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και 55% αναστολή ανάπτυξης της ρίζας.

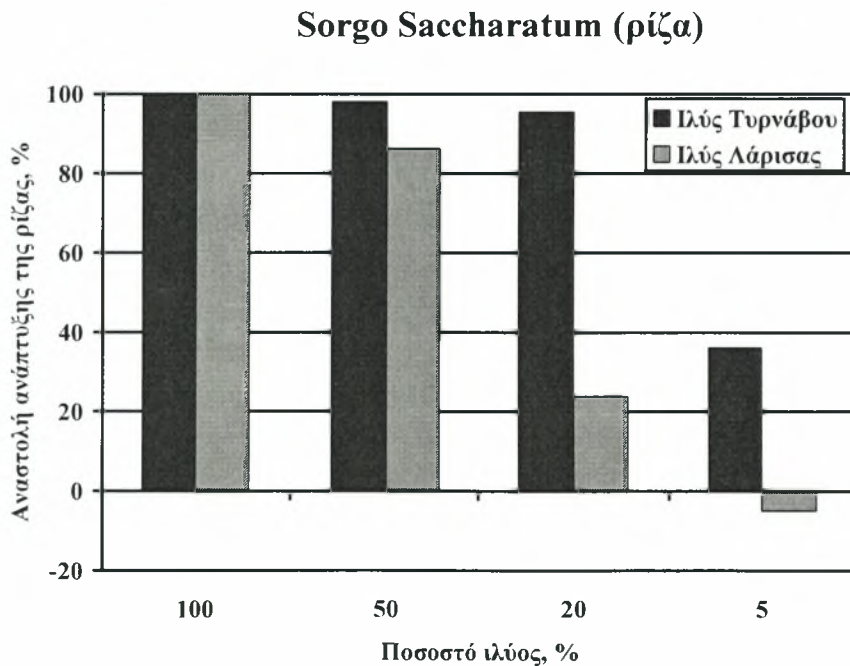
Διάγραμμα 4: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού *L. sativum*Διάγραμμα 5: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού *L. sativum*

Στα Διαγράμματα 6 και 7 παρουσιάζονται τα ποσοστά αναστολής της βλάστησης και της ανάπτυξης της ρίζας του φυτού *S. saccharatum* για τα διάφορες αναλογίες υλός/εδάφους. Το συγκεκριμένο φυτό δείχνει να είναι επίσης πιο ευαίσθητο στο δείγμα υλός του Τυρνάβου. Παρατηρείται πλήρης αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του φυτού, τόσο για το δείγμα υλός από την ΜΕΑΥΑ του Τυρνάβου, όσο και για δείγμα υλός από την ΜΕΑΥΑ της Λάρισας, όταν αυτά δεν αναμίχθηκαν με πρότυπο έδαφος. Σε περιεκτικότητα υλός 50%, η αναστολή ανάπτυξης του βλαστού ήταν 92,2% και 60,5% για τα δείγματα του Τυρνάβου και της Λάρισας αντίστοιχα. Για την ίδια περιεκτικότητα υλός, η ρίζα παρουσίασε 98% και 86,2% αναστολή ανάπτυξης για τα δείγματα του Τυρνάβου και της Λάρισας αντίστοιχα. Σε περιεκτικότητα υλός 20% ο βλαστός παρουσίασε αναστολή ανάπτυξης 87,2% για το δείγμα υλός του Τυρνάβου, ενώ η ρίζα παρουσίασε αναστολή ανάπτυξης 95,4%. Για το ίδιο ποσοστό υλός το δείγμα της Λάρισας έδωσε 8,5% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού, και 23,9% αναστολή ανάπτυξης της ρίζας. Για περιεκτικότητα υλός 5% το δείγμα υλός της Λάρισας παρουσίασε υποβοήθηση της ανάπτυξης (αρνητική αναστολή) της τάξης του 12,4% για το βλαστό και 5% για τη ρίζα. Για την ίδια περιεκτικότητα υλός, το δείγμα του Τυρνάβου έδωσε 24% αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και 36% αναστολή ανάπτυξης της ρίζας.

Διάγραμμα 6: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη βλάστηση του φυτού *S. Saccharatum*



Διάγραμμα 7: Επίδραση των δειγμάτων ιλύος στη ρίζα του φυτού *S. saccharatum*

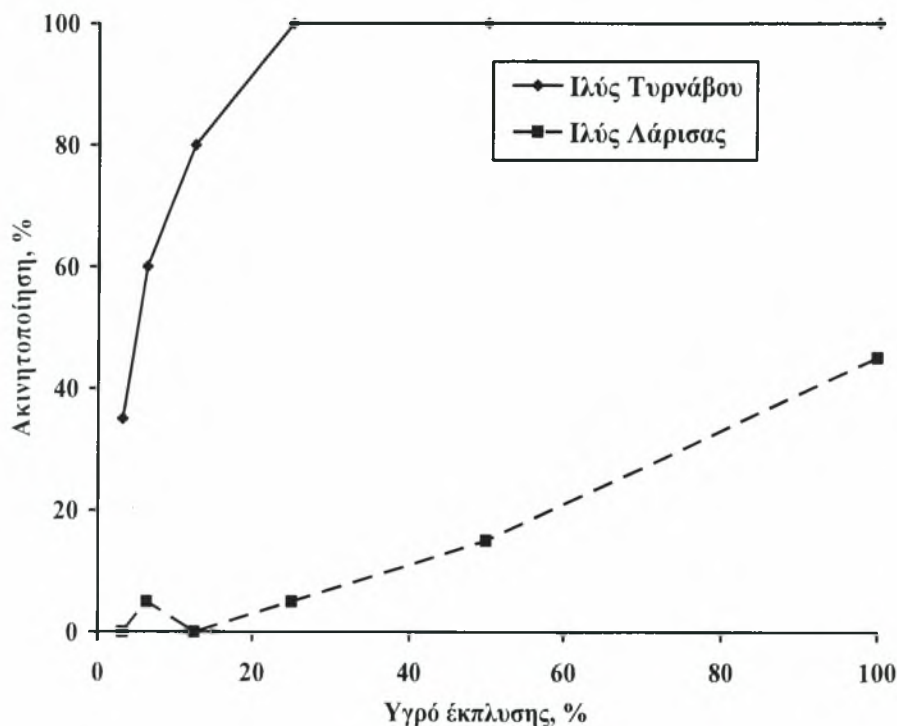


Γενικά, και για τα 3 είδη φυτών που εξετάστηκαν, προέκυψε ότι σε ψηλές περιεκτικότητες ιλύος στο έδαφος παρουσιάζεται υψηλή φυτοτοξική δράση, τόσο για το δείγμα ιλύος της μονάδας επεξεργασίας του Τυρνάβου, όσο και της Λάρισας. Το δείγμα ιλύος του Τυρνάβου έδωσε σχετικά μεγαλύτερα ποσοστά αναστολής της ανάπτυξης των φυτών, για όλα τα ποσοστά ανάμειξης ιλύος στο έδαφος υποδεικνύοντας την πιθανή ύπαρξη περισσότερων τοξικών παραγόντων, ενώ υποβοήθηση της ανάπτυξης εμφανίστηκε μόνο στο φυτό *S. saccharatum* σε περιεκτικότητα ιλύος στο έδαφος 5% για το δείγμα ιλύος της μονάδας επεξεργασίας της Λάρισας.

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τοξικότητας των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος της Λάρισας και του Τυρνάβου. Τα υγρά έκπλυσης αραιώθηκαν με πρότυπο νερό (ISO, 1982) σε ποσοστά υγρού έκπλυσης 50%, 25%, 12,5%, 6,25% και 3,125% καθώς εξετάστηκαν και χωρίς να αραιωθούν (ποσοστό υγρού έκπλυσης 100%). Στο Διάγραμμα 8 εμφανίζονται τα ποσοστά ακινητοποίησης της *Daphnia magna* που παρατηρήθηκαν για τις διάφορες αραιώσεις των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων που εξετάστηκαν.

Διάγραμμα 8: Ποσοστά ακινητοποίησης της *D. magna* για τις διάφορες συγκεντρώσεις των υγρών έκπλυσης των δειγμάτων ιλύος της Λάρισας και του Τυρνάβου



Παρατηρείται ότι η τοξικότητα του υγρού έκπλυσης της Λάρισας είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του Τυρνάβου για όλα τα ποσοστά αραιώσης. Ακόμα και για το μη αραιωμένο υγρό έκπλυσης (υγρό έκπλυσης 100%) το ποσοστό ακινητοποίησης της *Daphnia magna* δεν ξεπέρασε το 45%. Αντιθέτως, το υγρό έκπλυσης του Τυρνάβου παρουσίασε σχετικά υψηλή τοξικότητα, καθώς ακόμα και σε συγκέντρωση 25% το

ποσοστό ακινητοποίησης της *Daphnia magna* ήταν 100%. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο ότι το ποσοστό των τοξικών συστατικών του δείγματος ύλος του Τυρνάβου που διαρρέουν από την στερεή στην υγρή φάση είναι υψηλότερο σε σχέση με αυτό της Λάρισας, κάτι που επαληθεύεται από τις μετρήσεις του COD (Πίνακας 18).

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα - προτάσεις:

- Το δείγμα ιλύος από τη μονάδα επεξεργασίας του Τυρνάβου παρουσίασε σχετικά υψηλή τοξικότητα, καθώς τόσο η μέτρηση του COD, αλλά και οι δοκιμές τοξικότητας και φυτοτοξικότητας που εφαρμόστηκαν έδειξαν υψηλότερη τοξικότητα σε σχέση με το δείγμα ιλύος από τη μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας. Η σχετικά υψηλή τιμή του COD και η σχετικά υψηλή τοξικότητα των υγρών έκπλυσης πιθανόν να οφείλονται στο ότι το ποσοστό των τοξικών συστατικών του δείγματος ιλύος του Τυρνάβου που διαρρέουν από την στερεή στην υγρή φάση είναι υψηλότερο σε σχέση με αυτό της Λάρισας
- Όσον αφορά το πείραμα φυτοτοξικότητας, το φυτό *L. sativum* έδειξε γενικά τη μεγαλύτερη ευαισθησία συγκριτικά με τα φυτά *S. alba* και *S. Saccharatum*, όσον αφορά την αναστολή της ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας, ενώ λιγότερο ευαίσθητο φάνηκε να είναι το φυτό *S. saccharatum* του οποίου η ανάπτυξη έδειξε να υποβοηθείται όταν εφαρμόστηκε 5% ιλύς από την μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας σε πρότυπο έδαφος.
- Περιεκτικότητα ιλύος στο έδαφος μεγαλύτερη από 20% μπορεί να προκαλέσει σημαντική φυτοτοξική δράση.
- Οι πειραματικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία, δίνουν μια γρήγορη ένδειξη και μια πρώτη εκτίμηση των συνεπειών της γεωργικής διάθεσης της ιλύος. Για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση του ζητήματος διαχείρισης και διάθεσης της ιλύος, σκόπιμη θα ήταν και η διεξαγωγή αναλυτικών φυσικοχημικών αναλύσεων, ώστε να εντοπιστούν οι παράγοντες που προκαλούν την τοξική δράση (πχ. βαρέα μέταλλα, οργανικοί ρυπαντές).
- Οι μέθοδοι μέτρησης της τοξικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση της καταλληλότητας διαχείρισης ιλύος για διάφορες εφαρμογές συμπληρωματικά με τις φυσικοχημικές αναλύσεις καθώς δίνουν άμεση εκτίμηση της επίδρασης ενός υπό εξέταση δείγματος σε ζωντανούς οργανισμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνόγλωσση**

1. Αγγελάκης, Α., Διαβάτης, Η., Ευμορφοπούλου, Α., Κάρτσωνας, Ν., Μαμάης, Δ., Μποσδογιάννη, Α., Στάμου Α., Βούρβαχη Ν. (2005) *Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των παραπροϊόντων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων*, ΤΕΕ, Αθήνα Φεβρουάριος 2005.
2. Ανδρεαδάκης, Α. (2000) Σημειώσεις για το μάθημα: *Ρύπανση Περιβάλλοντος: Έργα καθαρισμού νερού και υγρών αποβλήτων*. ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη ΕΜΠ.
3. Ανδρεαδάκης, Α. (2001) Διαχείριση στερεών αποβλήτων και ιλύος. Αγροτική αξιοποίηση ιλύος. Τετραήμερο Σεμινάριο Κατάρτισης, Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων, 25-30 Μαΐου 2001, Αθήνα.
4. Ανδρεαδάκης, Α., Μαμάης Δ., Ντινοπούλου Γ., Τζίμας, Α. (2006): Ασβεστοποίηση από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. *Πρακτικά Συνεδρίου «Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μικρής κλίμακας»*. Εκδότες: Α. Ζουμπούλης, Α. Κούγκολος, Π. Σαμαράς, Χ.Προχάσκα. Πορταριά Πηλίου 8-9 Απριλίου 2006, 393-401
5. Αργυρούλη, Φωτ. (2005) *Μελέτη σκοπιμότητας και χωροθέτησης βιολογικών καθαρισμών τουριστικών και παραλιακών περιοχών Θεσσαλίας*, Λάρισα
6. Βλυσίδης, Απ., Μάη, Σ. (2010) Ενεργειακή αξιοποίηση της ιλύος που παράγεται κατά την επεξεργασία των λυμάτων, *Ημερίδα με θέμα : «Νερό, Ένας Αένας Κύκλος»*, Πολυχώρος Αθηναίδα, Αθήνα.
7. Γελατζής, Χρ. (2008) Υγρά απόβλητα δήμου Λάρισας. Επεξεργασία και απόδοση αυτών για χρήση στην άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων, Διπλωματική εργασία, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας-Παράρτημα Φλώρινας Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας Τμήμα Εμπορίας και Ποιοτικού Ελέγχου Αγροτικών προϊόντων, Φλώρινα.
8. Δεμερτζής, Α., Περπεράς Ν. (2007) Το μετέωρο βήμα των βιολογικών καθαρισμών, *Ενημερωτικό δελτίο Τ.Ε.Ε.* Τεύχος 2445/25-6-2007
9. ΕΚ (2002) Απόφαση 2003/33/ΕΚ για τον καθορισμό κριτηρίων και διαδικασιών αποδοχής των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής. *Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων*, L11/27-49

10. Ελενίτσας, Ι. (2003) Επίδραση διαφόρων διογκωτικών υλικών στην κομποστοποίηση της ύλης βιολογικών καθαρισμών, Διπλωματική εργασία, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας (ΣΤΕΓ), Τμήμα Βιολογικών Θερμοκηπιακών Καλλιέργειών και Ανθοκομίας, ΤΕΙ Κρήτης.
11. Καραγιαννίδης, Α., Κασαμπαλής, Θ., Ζιώγας, Π. (2009) Αξιολόγηση μεθόδων επεξεργασίας βιολογικής ύλης από μονάδες επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων με έμφαση στην ενεργειακή της αξιοποίηση, *Πρακτικά 3^{ου} Διεθνούς Συνέδριου Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.
12. Κάρτσωνας, Ν. (2005) Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης παραπροϊόντων επεξεργασίας από μικρές εγκαταστάσεις λυμάτων. *Πρακτικά Ημερίδας «Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας»*, 14-15 Οκτωβρίου, Καρδίτσα.
13. Κούγκολος, Αθ. (2005) *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
14. Κουλουμπής, Π. & Τσαντήλας, Χ. (2010) Ορθή Γεωργική Πρακτική για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση της Ύλης των Αστικών Λυμάτων. *Ημερίδα με θέμα «Εφαρμοσμένες Πρακτικές Διαχείρισης Ύλης από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων»*, Λάρισα.
15. Κουλουμπής, Π., Τσαντήλας, Χ., Γκαντίδης, Ν., (2007). *Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση της Ύλης των Αστικών Λυμάτων*, Εκδόσεις Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Αθήνα
16. Μαυρίδου, Α. και Παπαετροπούλου, Μ. (1995). *Μικροβιολογία του υδάτινου περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Τραύλος-Κωσταράκη, Αθήνα.
17. Μελίδης, Π. (2008) Επεξεργασία, Διάθεση και Επαναχρησιμοποίηση Ύλης, Διάλεξη για το Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
18. Metcalf and Eddy (2007) *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*, 4^η έκδοση, Τόμος Β», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
19. Μιχαλοπούλου, Χαρ. (2004) *Νομοθεσία για το περιβάλλον*, Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη.
20. Ντούλας, Σ., Τόγιας, Ν., Χρυσανθόπουλος, Π., Τρικαλίτη, Α., Σκούλλος, Μ. (2007). Βιολογικός καθαρισμός, Διάλεξη για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: ΔιΧηNET Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
21. Οδηγία 86/278/ΕΟΚ, Σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση ύλης καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία

22. Σκιτζή, Κ., Γούλα, Μ., Πολυχρονοπούλου, Ελ., Χαλαράκης, Ελ. (2005) «Σταθεροποίηση Ενεργού Ιλύος με την χρήση Ιπτάμενης Τέφρας», *Heleco «05, ΤΕΕ*, Αθήνα., σελ.1-8.
23. Στάμου, Αν. (2004) *Βιολογικός καθαρισμός αποβλήτων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
24. Τσαγκαράκης, Κ. και Αγγελάκης, Α. (1998) Αξιολόγηση Μονάδων Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, *Τεχνικά Χρονικά* 3, σελ.97-102
25. Τσώνης, Στ. (2004) *Επεξεργασία λυμάτων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

26. Boura, P., Katsioti, M., Tsakiridis P. and Katsiri A. (2003) Stabilization/solidification of sewage sludge . *Proceedings of the IWA specialist conference "BIOSOLIDS 2003 - Wastewater sludge as a resource"* 23-25, June, Trondheim Norway, 465-472
27. Carrington, E.G. (2001) Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction-final report. Study Contract No B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the Commission, Directorate-General Environment, Report No:CO 5026/1
28. CEN (2002) Characterization of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste material and sludge – Part 2: one stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 L/kg with particle size below 4 mm (without or with size reduction). EN 12457-2, *European Committee for Standardization*
29. Davis, R.D. & Calton-Smith, C.H. (1984) An investigation into the phytotoxicity of zinc, copper and nickel using sewage sludge of controlled metal content, *Environmental Pollution (Series B)* 8, 163-185
30. Deportes, I., Benoit, E.J. and Zmirou, D. (1995) Hazard to man and environment posed by the use of urban waste compost: a review. *The science of the Total Environment* 172, 197-222
31. Domingues, H., Gusmao, M.R., Sequeira, E.M., Soares Silva, A.M., Monteiro, O.R. (1991) Study of soil pollution and phytotoxicity risks of Frielas sewage sludge, *International Conference on Environmental Pollution*, 344-350
32. European Communities (2001) Disposal and recycling routes for sewage sludge, *Part 3 – Scientific and technical report*, Office for official publications of the European Communities, Luxemburg ISBN 92-894-1800-1

33. European Communities (2001) Disposal and recycling routes for sewage sludge, *Part 2 – Regulatory report*, Office for official publications of the European Communities, Luxemburg ISBN 92-894-1799-4
34. European Communities (2001) Survey of waste spread on land , *final report*, Office for official publications of the European Communities, Luxemburg ISBN 92-894-1732-3
35. European Environmental Agency,(1998) *Sludge treatment and disposal*, Τελευταία ενημέρωση από το www.europa.eu/index_el.htm στις 10 Σεπτεμβρίου 2010.
36. Ferrari, B., Radetski, C.M., Veber, A.M. and Ferard, J.F. (1999) Ecotoxicological assessment of solid wastes: A combined liquid and solid phase testing approach using a battery of bioassays and biomarkers. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 1195-1202
37. Fjallborg, B., Ahlberg, G., Nilsson, E., Dave, G. (2005) Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate, *Environment International* 31, 25–31
38. Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Aguilar, M., Ortuno, J. and Meseguer, V. (2004) Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges, *Journal of Hazardous Material* 108 (3), 161-169
39. Fytily D. and Zabaniotou A. (2006) “Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 116–140
40. Guitonas, A., Hatzinikolaou, N., Riziotis, C. (1991) The use of fly ash as conditioner for dewatering of biological sludges in drying beds, *Toxicological Environmental Chemistry* 31-32, 587-589
41. Hue, N.V., Ranjith, S.A. (1994) Sewage sludges in Hawaii Chemical composition and reactions with soils and plants, *Water, Air, and Soil Pollution* 72 (1-4), 265-283
42. ISO (1982) Water quality-determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Strauss (Cladocera, Crustacea). ISO 6341.
43. Jensen, J., Jepsen, S.E., (2005). The production, use and quality of sewage sludge in Denmark, *Waste Management* 25 , 239–247
44. Kosson, D.S., van der Sloot H.A., Sanchez F. and Garrabrants A.C. (2002) An integrated framework for evaluating leaching in waste management and utilization of secondary materials. *Environmental Engineering Science* 19 (3), 159-204
45. Lettinga, G. (1995) Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek* 67, 3-28

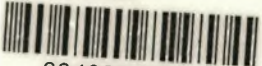
46. McBride, M.B., Richards, B.K., Steenhuis, T., Russo, J.J., Sauve, S. (1997) Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. *Soil Science* 162 (7), 487-500
47. Metcalf, E. (1991) Wastewater engineering - treatment, disposal and reuse, 3rd ed., USA McGraw Hill, New York.
48. Miaomiao H., Wenhong L., Xinqiang L., Donglei W., Guangming T. (2009) Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure, *Waste Management* 29 (2), 590-597
49. Microbiotests (2004) 72h seed germination and early growth microbiotest with 3 higher plants (one monocotyl and two dicotyls). *Standard Operational Procedure*. Microbiotests Inc. Nazareth, Belgium.
50. OECD (1984) Guidelines for testing of chemicals: Earthworm, acute toxicity test. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France. Protocol No. 207, 1-9
51. Oleszczuk, P. (2008) Phytotoxicity of municipal sewage sludge composts related, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69, 496-505
52. Parkpian, P., Klankrong, K., DeLaune, R., Jugsujinda, A. (2002) Metal leachability Thai, *Journal of Environmental Science and Health* 37 (5), 765 – 791
53. Ramirez, W.A., Domene, X., Andres, P., Alcaniz, J.M. (2008) Phytotoxic effects of sewage sludge extracts on the germination of three plant species, *Ecotoxicology* 17 (8), 834-844
54. Rappaport, B.D., Martens, D.C., Reneau Jr., R.B., Simpson, T.W. (1988) Metal availability in sludge-amended soils with elevated metal levels, *Journal of Environmental Quality* 17 (1), 42-47
55. Smith, S.R. (1996), *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*, CAB International, Wallingford, UK
56. Srivastava, R., Kumar, D., Gupta, S.K. (2005) Municipal sludge-induced phytotoxicity, *ATLA Alternatives to Laboratory Animals* 33 (5), 501-508
57. U.S. EPA; US Environmental Protection Agency. (1980) *Sewage Sludge: Factors Affecting the Uptake of Cadmium by Food-Chain Crops on US EPA Report No. SW-882*. National Technical Information Service, Springfield, Virginia
58. Van der Sloot, H.A. (1996) Developments in evaluating environmental impact from utilization of bulk inert wastes using laboratory leaching tests and field verification. *Waste management* 16 (1-3), 65-81

Ιστότοποι

<http://www.mesogeos.gr/GR/default.asp?area=content&id=42> προσπελάστηκε την 12-12-2010



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000105712